

Brandversuche an Stahlbetonstützen  
ohne Längsdehnungsbehinderung

---

Bericht aus dem Sonderforschungsbereich 148  
Brandverhalten von Bauteilen  
der Technischen Universität Braunschweig

30-0505/001

Institutsinterner Arbeitsbericht

von

Dipl.-Ing. Robert Walter

BIBLIOTHEK  
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz  
der Technischen Universität Braunschweig  
Beethovenstraße 82  
D-38106 Braunschweig

Nach Rückgab  
an H. Lywa

Braunschweig, im Dezember 1977

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung . . . . .	2
2. Brandversuchsstand für Stützen des Sonderforschungsbereichs 148 der Technischen Universität Braunschweig . . . . .	2
3. Stützenversuchsprogramm . . . . .	5
4. Versuchsmaterial . . . . .	6
4.1. Bewehrungsstahl . . . . .	6
4.2. Beton . . . . .	6
5. Herstellung der Versuchskörper . . . . .	6
6. Versuchsdurchführung . . . . .	7
7. Versuchsergebnisse . . . . .	8
7.1. Betonabplatzungen . . . . .	8
7.2. Temperaturmessung . . . . .	10
7.2.1. Brandraumtemperaturen . . . . .	10
7.2.2. Bauteiltemperaturen . . . . .	11
7.2.2.1. Betontemperaturen . . . . .	11
7.2.2.2. Stahltemperaturen . . . . .	11
7.3. Verformungsmessung . . . . .	12
7.4. Feuerwiderstandsdauer . . . . .	14
8. Versuchskörper-Nachuntersuchungen . . . . .	15
8.1. Überprüfung der Betondeckung der Längsbewehrung . . . . .	15
8.2. Restfestigkeiten nach dem Brandversuch nach erfolgter Abkühlung . . . . .	15
9. Zukünftige Stützenversuche im SFB 148 . . . . .	16
10. Literaturverzeichnis . . . . .	16
11. Tabellen . . . . .	19
12. Bilder . . . . .	29
13. Anhang	
13.1. Bruchbilder der Stützen . . . . .	
13.2. Bewehrungspläne der Versuchskörper . . . . .	
13.3. Temperaturmeßergebnisse . . . . .	
13.4. Verformungsmeßergebnisse . . . . .	



## 1. Einleitung

Schon vor dem zweiten Weltkrieg wurden in Deutschland Brandversuche an Stahlbetonstützen durchgeführt [1]. In der Bundesanstalt für Materialprüfung in Berlin fanden in den 50er und 60er Jahren weitere Versuche statt [2]. Auch in England wurden einige Brandversuche an Stahlbetonstützen durchgeführt [3], desgleichen in verschiedenen anderen Ländern.

Alle diese Versuche dienten in erster Linie dazu, einige Teilaspekte des Brandverhaltens von Stahlbetonstützen experimentell zu klären. Auch erlaubten die Versuchsstände nur eine begrenzte Parametervariation. Das Einhalten definierter Randbedingungen war nur mit Einschränkungen möglich.

Um für die Entwicklung von theoretischen Modellen und Berechnungsverfahren zur Beschreibung des Brandverhaltens von Stahlbetondruckgliedern [4, 5] entsprechend detaillierte und eindeutig interpretierbare, experimentelle Ergebnisse schaffen zu können, wurde im Sonderforschungsbereich 148 der Technischen Universität Braunschweig ein Brandversuchsstand für Stützen errichtet, der nach entsprechendem Umbau auch für die Prüfung von einhüftigen Rahmen einsetzbar ist. Ende 1975/Anfang 1976 wurden die ersten Brandversuche durchgeführt.

## 2. Brandversuchsstand für Stützen des SFB 148

Der Brandversuchsstand für Stützen des SFB 148 ist schematisch in Bild 1 dargestellt. Die lichte Brandraumhöhe kann von 3,6 m bis 5,6 m in Abständen von 0,5 m verändert werden, so daß bei gleichzeitiger Veränderung des Belastungsgerüsts Stützen mit 3,8 m bis 5,8 m Länge geprüft werden können. Bei Benutzung entsprechender Distanzstücke können auch Stützen bis zu einer minimalen Länge von 2,5 m in den Versuchsstand eingebaut werden. Es können Stützen mit beliebiger Querschnittsform und -abmessung geprüft werden.

Der Einbau der Prüfkörper ist einfach und rationell mit Hilfe eines fahrbaren Wagens durchführbar. Ebenso erfordert die Veränderung der Brandhaushöhe relativ wenig Zeit, da alle zu demontierenden Teile als Fertigteile hergestellt wurden. Einbau, Prüfung und Ausbau einer Stütze können im allgemeinen von zwei Personen (während der Prüfung kommen Versuchsleiter und eventuell Beobachtungspersonal hinzu) innerhalb von zwei Tagen durchgeführt werden (ohne Veränderung der Brandraumhöhe).

Die Beflammung der Prüfkörper erfolgt durch 6 Ölbrenner vom Brandraumfußboden her. Die Flammenachsen liegen parallel zur Stützenlängsachse.

Es werden preßluftzerstäubende Verbundbrenner mit maximal ca. 90 l Öldurchsatz/ Stunde (Heizöl EL) je Brenner eingesetzt. Die Verbrennungsluftversorgung erfolgt durch Ventilatoren. Die Brenner werden gemeinsam von einem Steuerstand aus elektrisch fernbedient.

Voraussetzung zur Beurteilung von Rechenmodellen und zur Überprüfung rechnerischer Ergebnisse durch Versuche ist das möglichst exakte Einhalten definierter Randbedingungen. Diesem Punkt wurde bei der Konstruktion und dem Bau dieses Versuchsstandes besondere Aufmerksamkeit geschenkt.

Die das Brandverhalten von Stahlbetonstützen bestimmenden Faktoren lassen sich in vier Gruppen einteilen:

- geometrische,
- stoffliche,
- thermische und
- statische Einflußgrößen.

Geometrische und stoffliche Größen werden durch den Prüfkörper, thermische und statische Parameter durch den Versuchsstand bestimmt.

Bei allen bisherigen Stützenversuchen im SFB 148 wurde die Brandbeanspruchung entsprechend der Einheitstemperaturkurve nach DIN 4102 aufgebracht. Der Unterschied der in Bauteilnähe (ca. 10 cm von der Oberfläche) an verschiedenen Meßstellen in Stützenlängsrichtung registrierten Brandraumtemperaturen war gering (tiefster Meßpunkt: ca. 50 cm über OK-Brandraumfußboden; höchster Meßpunkt: ca. 50 cm unter UK-Brandraumdecke). In der Regel betrugen die Abweichungen von der Sollkurve in der 30. Minute  $\pm 30^{\circ}\text{C}$ , in der 60. Minute  $\pm 20^{\circ}\text{C}$ . Auch bei der Messung der Betontemperaturen konnten an Meßstellen mit 3 - 4 cm Betonüberdeckung und einem Abstand von ca. 15 cm von OK-Brandraumfußboden bzw. UK-Brandraumdecke keine signifikanten Unterschiede zu Meßstellen im mittleren Stützenbereich mit gleicher Betonüberdeckung festgestellt werden. Auf dem Stützenumfang waren bei allseitiger Beflammung ebenfalls keine Temperaturunterschiede feststellbar. Da außerdem durch entsprechende Ausbildung der Auflagerpunkte

der nicht beflammte Stützenteil am Fuß und Kopf mit ca. 10 cm klein gehalten werden konnte (Bild 2), kann für die Stütze eine in Stützenlängsrichtung konstante und über den Umfang allseits gleiche Brandbeanspruchung vorausgesetzt werden.

Die Belastung erfolgt mittels einer hydraulisch gesteuerten Presse. Die konstruktive Ausbildung der Auflagerpunkte ist schematisch in Bild 2 dargestellt. Die Bedingung möglichst kleiner nicht beflammter Bauteilbereiche macht den Einsatz stählerner Distanzstücke erforderlich. Das obere Distanzstück kann wassergekühlt werden. Der in Stützenlängsrichtung verschiebbliche Auflagerpunkt befindet sich am Stützenfuß. Da hier mit Verschiebungen bis zu 50 mm während der Beflammung zu rechnen ist, wird das untere Distanzstück seitlich durch Rollenwagen (Wälzwagen) geführt.

Höhe der Belastung und Belastungsgeschichte werden mit Hilfe einer am Stützenkopf eingebauten Kraftmeßdose gesteuert. Das elektrische Meßsignal der Kraftmeßdose kann auf einem Linienschreiber kontinuierlich registriert werden. Eine Belastungssteuerung über den angezeigten Öldruck der Hydraulikpresse erwies sich als unbrauchbar, da Reibungsverluste in der Presse selbst und zwischen Rollenwagen und unterem Distanzstück (veränderlicher Reibungskoeffizient in Abhängigkeit von der Stützenendverdrehung) nicht vernachlässigbar klein waren (in ungünstigen Fällen 10 - 15 % Abweichung, bezogen auf die vorgegebene Belastung).

Beim Einsatz von Kraftmeßdosen zur Laststeuerung sind die gerätebedingten Meßfehler

bei Lasten bis 1000 kN < 0,5 %,

bei Lasten bis 2000 kN < 1,5 %,

bei Lasten bis 4000 kN < 2,0 %.

Die zur Zeit maximal mögliche Stützenlast beträgt 4000 kN.

Hinsichtlich möglicher Auflagerbedingungen lassen sich sowohl gelenkige Auflagerungs- als auch feste Einspannungsverhältnisse erreichen. Die gelenkige Lagerung wurde durch den Einbau von Linienkipplagern (einachsige Biegung) am Stützenfuß bzw. -kopf (Halbrolle mit  $r = 50$  mm) realisiert. Versuchsnachrechnungen und Verformungsfiguren der Stützen (siehe Bruchphotos im Anhang) bestätigten die Berechtigung der Annahme gelenkiger Lagerung.

Neben zentrischer Belastung kann die Last auch exzentrisch eingetragen werden. Beim Einsatz des Linienkipplagers kann die Auflagerlinie mit recht hoher Genauigkeit fixiert werden. Bei der Wahl großer Exzentrizitäten ( $e/d > 0,5$ ) ist der Einsatz von ausmittig wirkenden Zusatzpressen erforderlich (Bild 3). Einen Überblick über mögliche statische und thermische Randbedingungen gibt Bild 3a.

Neben der Prüfung von Stützen kann der Versuchsstand auch zum experimentellen Studium komplexer Bauwerksabschnitte genutzt werden. So ist z. B. bei entsprechender Erweiterung um einen Nebenbrandraum die Untersuchung des Brandverhaltens eines einhüftigen Rahmens möglich (Bild 4).

### 3. Stützenversuchsprogramm

Die in der Vergangenheit durchgeführten Brandversuche [1 - 3] an Stützen beschränkten sich in der Regel auf zentrische Belastung bei konstanter Stützenlänge (beflammte Stützenlänge ca. 3 m). Schlankheitseinflüsse machten sich nur indirekt bei Veränderung der Querschnittsabmessungen bemerkbar. So enthielten die bisher gültigen Normen und Vorschriften auch keine wesentlichen Angaben über die Abhängigkeit der Feuerwiderstandsdauer von der Stützenschlankheit oder der Lastausmitte.

Rechnerische Voruntersuchungen im SFB 148 [5] machten jedoch den großen Einfluß der Schlankheit auf die Feuerwiderstandsdauer deutlich. Daher wurde die experimentelle Untersuchung des Schlankheitseinflusses in den Mittelpunkt der ersten Versuchsserie gestellt (Stützenserie S 75). Außenstützen und Stützen in den Randfeldern eines Geschoßbaues werden im Gegensatz zu Stützen der mittleren Felder auch auf Biegung beansprucht. Die Untersuchung des Einflusses der Lastausmitte war Schwerpunkt der 2. Versuchsserie (Stützenserie S 76). Vorgestellt werden in diesem Bericht die Versuchsergebnisse dieser zwei Stützenserien.

Für die Versuche wurden quadratische Querschnitte mit  $b/d = 300/300$  mm und  $b/d = 200/200$  mm ausgewählt. Die thermische Längsdehnung der Stützen war nicht behindert (Ausnahme: Stütze 75-3/2 wurde zum Zwecke der Funktionsprüfung des Versuchsstandes teilweise dehnungsbehindert geprüft). Die Beflammung erfolgte allseitig gleich und gemäß der Einheitstemperaturkurve nach DIN 4102. Die Stützen waren beidseitig gelenkig gelagert. Bei ausmittiger Belastung waren die Endexzentrizitäten gleichsinnig und gleichgroß. Die Versuchsgrundwerte sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

#### 4. Versuchsmaterial

##### 4.1. Bewehrungsstahl

Für die Längsbewehrung wurde bei allen Stützen naturharter gerippter Betonstahl der Güte BSt 420/500 RU mit 20 mm  $\varnothing$  gewählt. Vor dem Einbau wurden an mehreren Proben die Festigkeitswerte ermittelt (Streckgrenze, Zugfestigkeit, Bruchdehnung  $\delta_{10}$  siehe Tabelle 2). Für die Bügelbewehrung wurde kaltverformter Betonstahl der Güte BSt 420/500 RK mit 8 mm  $\varnothing$  verwendet.

##### 4.2. Beton

Die Stützen wurden mit Hilfe von Transportbeton, der aus einem Braunschweiger Werk stammte, hergestellt. Angestrebt wurde die Betongüte B 25 (BN 250) (Konsistenzbereich K 2). Alle Stützen einer Serie wurden mit einer Mischung zum gleichen Zeitpunkt betoniert. Die Serie S 75 wurde mit Mischung A, die Serie S 76 mit Mischung B hergestellt. Beide Mischungen unterscheiden sich nur unwesentlich voneinander. Die von der Transportbetonfirma mitgeteilten Rezepturen sind in Tabelle 3 zusammengestellt. Die Zuschläge der Fraktion 2 - 16 mm wurden aus einer Kiesgrube in Isingerode (Schladen/Vorharz) bezogen. In Tabelle 4 ist die petrographische Zusammensetzung des dort vorkommenden Gesteins, die [6] entnommen wurde, aufgeführt.

Gleichzeitig mit den Stützen wurden Probekörper hergestellt, die der Ermittlung der Festigkeitswerte dienten. Zur Bestimmung der Betonfeuchte der Stützen wurden Vergleichs-Feuchtekörper angefertigt. Die im Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig ermittelten Materialkennwerte sind in den Tabellen 5 und 6 aufgeführt.

Für die Bemessung wurde einheitlich für alle Stützen die Betongüte B 25 (BN 250) gewählt (Rechenwert der Betondruckfestigkeit:  $17,5 \text{ N/mm}^2$ ).

#### 5. Herstellung der Versuchskörper

Alle Stützen der Serien S 75 und S 76 wurden im Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig hergestellt. Der Herstellungstermin der Serie S 75 lag im August 1975, der der Serie S 76 im August 1976. Die Verdichtung erfolgte durch Innenrüttler. Die Bewehrungspläne der Stützen sind im Anhang enthalten.

Zum Zwecke der Temperaturmessung wurden Thermoelemente (Nickelchrom-Nickel mit 2 x 0,5 mm Drahtdicke) in den Stützen installiert. Es wurden im allgemeinen etwa in den Viertelpunkten der Stützen im Beton und an der Längsbewehrung Temperaturen gemessen. In einigen Stützen der Serie S 76 wurden auch an Bügeln Thermoelemente befestigt.

An den Bewehrungsstäben wurden jeweils 2 Thermoelemente angebrungen (Bild 5). Die Stahltemperatur wurde durch Mittelwertbildung bestimmt.

Betontemperaturen wurden außer im Kern auch in den Randbereichen der Stützen gemessen. Die Meßpunkte wurden mit speziellen "Leitern" an den vorgesehenen Stellen fixiert (Bild 6). Für die Messung von Oberflächentemperaturen wurden Blechstreifen (Dicke: 1 mm) in die Leitern eingebaut, an die die Thermodrähte angeschweißt wurden.

Die Meßleitern wurden in Serie S 75 am Bewehrungskorb, in Serie S 76 an der Schalung befestigt. Die Befestigung an der Schalung erwies sich im Hinblick auf eine genaue Fixierung der Meßpunkte als besser.

Alle Stützen blieben ca. 7 Tage lang nach Herstellung mit einer Folie bedeckt. Danach wurden sie in der Versuchshalle des SFB 148 zum Austrocknen gelagert.

## 6. Versuchsdurchführung

Die Stützen wurden im Alter von 5 - 13 Monaten im Brandversuch geprüft.

Die ermittelten Feuerwiderstandsdauern sind in Tabelle 7 zusammengestellt.<sup>1)</sup>

Neben den Versuchswerten sind auch rechnerisch ermittelte Versagenszeiten angegeben. Die Stützen waren mit der nach DIN 1045 (Ausgabe 1972) maximal zulässigen Last belastet.<sup>2)</sup> Die Belastung blieb während der Dauer des Brandversuchs konstant. Die temperaturbedingte Längsdehnung der Stützen wurde nicht behindert (Ausnahmen: Stützen 75-3/2 und 75-4/1).

---

1) Als Versagenszeitpunkt (= Feuerwiderstandsdauer) wurde der Zeitpunkt definiert, zu dem die aufgebrachte Belastung von der Stütze nicht mehr getragen werden konnte.

2) Für Stützen mit Schlankheiten  $\lambda \leq 70$  wurde der Knicksicherheitsnachweis mit Hilfe des Näherungsverfahrens nach 17.4.3, für Stützen mit Schlankheiten  $\lambda > 70$  nach Abschnitt 17.4.4 durchgeführt. Als Festigkeitswerte wurden die gemäß DIN 1045 zulässigen Rechenwerte eingesetzt.



Während des Versuchs wurden neben der Beobachtung des Prüfkörpers Temperatur- und Verformungsmessungen durchgeführt.

Die gemessenen Brandraumtemperaturen (Einsatz von Nickelchrom-Nickel-Mantelthermoelementen [Drahtdicke: 2 x 0,5 mm] mit 5 mm Manteldurchmesser) dienten zur Steuerung der Normbrandkurve und wurden von einem Kompensationspunktdrucker aufgezeichnet. Die einzelnen Meßstellen waren etwa in den Viertelpunkten in Stützenlängsrichtung angeordnet und hatten einen Abstand von ca. 10 cm von der Prüfkörperoberfläche.

Die Bauteiltemperaturen (Beton- und Stahltemperaturen) wurden von einer 100-Meßstellen-Erfassungsanlage digital registriert und über einen Drucker und eine Lochstreifenstanze ausgegeben. Der Lochstreifen konnte für eine Auswertung mit Hilfe der EDV benutzt werden.

Die durchgeführten Verformungsmessungen erfaßten die Stützenausbiegung und die thermisch bedingte Stützenverlängerung. Die Ausbiegung der Stütze wurde optisch durch ein Beobachtungsfenster in der Brandhauswand mit Hilfe eines Kathetometers gemessen (Meßgenauigkeit  $\pm 0,5$  mm). Die Längenänderung wurde bei den ersten Versuchen an einer Meßuhr (Ablesegenauigkeit: 1/100 mm) abgelesen; bei den letzten Versuchen wurde ein induktiver Wegaufnehmer (Meßgenauigkeit  $\pm 0,25$  mm) eingesetzt, dessen elektrisches Signal von einem Linienschreiber kontinuierlich aufgezeichnet wurde.

## 7. Versuchsergebnisse

### 7.1. Betonabplatzungen

Die Stützen hatten zum Versuchszeitpunkt ein Mindestalter von 5 Monaten. Bisherige Erfahrungen bei der Durchführung von Brandversuchen an Betonbauteilen im Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig hatten gezeigt, daß die Gefahr von Betonabplatzungen bei Lagerung in der Versuchshalle und einem Bauteilalter von 4 bis 5 Monaten in der Regel nur noch gering ist (diese Erfahrungen waren hauptsächlich bei der Prüfung von Biegegliedern gewonnen worden).

Im Gegensatz dazu traten bei den Brandversuchen im Sonderforschungsbereich 148 an Stützen mit einem Prüfalter von 5 bis 6 Monaten an 7 von insgesamt 17 Stützen erhebliche Betonabplatzungen auf, die sich auf die Stützenecken konzentrierten, so daß im allgemeinen das Eckeisen freilag. Eine Sicherung der Beton-

deckung, z. B. durch Drahtgewebe, war nicht vorgesehen. Die Abplatzungen traten zwischen der 12. und 23. Minute nach Beginn der Beflammung auf. Nähere Angaben über Ort und zeitliches Auftreten der Abplatzungen enthält die Tabelle 8. Bei der Mehrzahl der Stützen wurde während der ersten 20 bis 30 Minuten der Austritt von erheblichen Wassermengen an der Stützenoberfläche beobachtet. Dies zeigt, daß sich in diesen Stützen zum Versuchszeitpunkt noch größere Feuchtigkeitsmengen befanden, was auch durch die Feuchtebestimmung entsprechender Probekörper (siehe Tabelle 6, insbesondere Serie S 76) bestätigt wurde.

Die noch relativ hohen Feuchtigkeitswerte nach etwa 6 Monaten Lagerung (ca. 4 % in den Randbereichen und ca. 6 % im Kern, siehe Tabelle 6) sind wahrscheinlich auf die gute Dichte (kleiner Luftporengehalt) des erhärteten Betons zurückzuführen, wobei der Flugaschezusatz das Entstehen eines sehr dichten Gefüges vermutlich begünstigt. Dadurch verlief der Austrocknungsvorgang recht langsam. Erst nach einer Lagerung von 12 Monaten war der Feuchtigkeitsgehalt offensichtlich so weit reduziert (Betonfeuchte in den Randbereichen ca. 2,5 %, siehe Tabelle 6), daß an diesen Stützen keine Abplatzungen mehr auftraten (siehe Tabelle 7).

In einer umfangreichen Untersuchung zum Problem von Betonabplatzungen [7] wurden als wesentliche Einflußgrößen in Abhängigkeit von der minimalen Bauteildicke und der Art der Brandbeanspruchung der Feuchtigkeitsgehalt des Bauteils und die durch äußere Belastung bedingte Druckspannung ermittelt. Als Grenzfeuchtigkeitswert, ab dem mit "zerstörenden" Abplatzungen nicht mehr gerechnet werden muß, wurden 2 Gew.-% angegeben.

Die damit erforderliche große Vorlaufzeit von mindestens 12 Monaten zwischen Stützenherstellung und -versuch zur Durchführung von abplatzfreien Versuchen bei diesen beiden Stützenserien konnte jedoch aus zeitlichen Gründen nicht eingehalten werden.

Der zweite Weg der Trocknung des Prüfkörpers bei erhöhten Temperaturen wurde bisher bei einer Stütze (Serie S 77) beschritten. Die Trocknung kann nur im Brandversuchsstand selbst erfolgen. Der Brandraum wurde an zwei Tagen jeweils über einen Zeitraum von 3 Stunden auf 180 °C im Mittel aufgeheizt. Geringere Brandraumtemperaturen lassen sich nicht fahren, da ein gewisser Mindestöldurchsatz beim Betrieb der Brenner nicht unterschritten werden kann. Die Beheizung erfolgte nur durch 2 Brenner. Zwischen beiden Heizperioden lag eine Pause von 2 Tagen. Die Stützenoberfläche wurde bei der Beheizung auf maximal



130 °C erwärmt; in 4 cm Tiefe lag der Maximalwert bei 105 °C. Durch diese Trocknung konnte der Feuchtigkeitsgehalt in den Randbereichen der Stütze von ca. 4,5 Gew.-% auf ca. 2,5 Gew.-% gesenkt werden (Alter der Stütze: 4 Monate). Betonabplatzungen traten beim eigentlichen Brandversuch nicht auf. Da dieses Trocknungsverfahren sehr zeitaufwendig und kostenintensiv ist und in den Randzonen der Stütze wahrscheinlich schon mit Materialschädigungen gerechnet werden muß, wird es sicher nur in Ausnahmefällen zur Anwendung kommen können.

Da bei tatsächlichen Bränden in Stahlbetonbauten Betonabplatzungen häufig auftreten, sollten auch abplatzgeschädigte Stützen in rechnerischen Traglaststudien untersucht werden. Dafür liefern experimentell gewonnene Ergebnisse wertvolle Erkenntnisse.

Die bei diesen Versuchen aufgetretenen Abplatzungen reduzierten die Feuerwiderstandsdauern dieser Stützen in der Regel um 10 bis 15 Minuten gegenüber Stützen ohne Abplatzungen bei sonst gleichen Versuchsbedingungen (vergl. Stütze 76-1/1 und Stütze 76-1/2, Tabelle 7).

## 7.2. Temperaturmessung

### 7.2.1. Brandraumtemperaturen

Die in ca. 10 cm von der Prüfkörperoberfläche gemessenen Brandraumtemperaturen lagen in einem relativ engen Streubereich (siehe Pkt. 2, S. 3). Die Meßergebnisse sind im Anhang (Pkt. 13) zusammengestellt.

Die vorgegebene Normbrandkurve konnte in der Regel mit nur geringen Abweichungen gefahren werden.

### 7.2.2. Bauteiltemperaturen

#### 7.2.2.1. Betontemperaturen

Die als Hilfsmittel zur Fixierung der Meßpunkte im Beton eingebauten Leitern waren bei der Serie S 75 am Bewehrungskorb angebunden, bei der Serie S 76 an der Schalung befestigt worden (siehe Bild 6). Beim Einbringen und Verdichten des Betons verschoben sich die am Bewehrungskorb angebrachten Leitern teilweise erheblich, so daß die Lage der Temperaturmeßpunkte nach dem Brandversuch ausgemessen werden mußte. Die Befestigung der Leitern am Schalungsboden erwies sich als brauchbarer.

Zusammenfassend sind die gemessenen Betontemperaturen mit den ermittelten Streubereichen (Streuung der Lage der Meßpunkte im Beton) in den Bildern 7 und 8 dargestellt. Die Einzelmeßergebnisse können aus den Bildern im Anhang (Pkt. 13) entnommen werden.

#### 7.2.2.2. Stahltemperaturen

Die Befestigung der Thermoelemente an der Bewehrung erfolgte so, wie in Bild 5 dargestellt. Es mußte dabei darauf geachtet werden, daß die Meßperlen möglichst dicht am Stahl anlagen (zwischen den Rippen), so daß beim Betonieren keine oder nur wenig Zementschlempe zwischen Meßperle und Stahloberfläche laufen konnte. Bei sorgfältiger Installation der Thermoelemente betrugen die Temperaturunterschiede zwischen innerer und äußerer Perle 30 - 40 °C. Ungenügende Befestigung in einigen Fällen führte bei den Eckeisen zu Temperaturdifferenzen von 100 - 200 °C, bei mittleren Eisen von 70 - 120 °C. Die durch Mittelwertbildung aus den Temperaturwerten des äußeren und des inneren Thermoelements ermittelten Stahltemperaturen mußten in diesen Fällen mit erheblichen Unsicherheiten behaftet sein.

Außen und innen am Bewehrungsstahl angeschweißte Thermoelemente (Untersuchung bei der Prüfung von Stahlbetonrahmen) zeigten Temperaturunterschiede von 5 - 10 °C. Um Unsicherheiten hinsichtlich zu messender Stahltemperaturen bei unsachgemäßer Thermoelementbefestigung zukünftig auszuschließen, wird das Anschweißen der Meßelemente empfohlen. Es genügt dabei in der Regel das Anbringen eines Elements an der der beflamten Bauteiloberfläche zugewandten Stahlseite (Einsparung von Thermoelementleitung). Aufgrund der evtl. höheren mechanischen Empfindlichkeit (z. B. beim Einbringen und Verdichten des Betons) der Schweißpunkte gegenüber

den Meßperlen könnte das Ausfallrisiko der angeschweißten Thermoelemente etwas größer sein.

Zusammengestellt aus allen Versuchen sind die gemessenen Temperaturen an der Längsbewehrung in den Bildern 9 und 10.

Die bei den einzelnen Stützenversuchen ermittelten Stahltemperaturkurven sind in den Bildern im Anhang dargestellt. Sehr deutlich wird der erhebliche Einfluß der Betondeckung auf die Stahltemperaturen. Die tatsächlich vorhandenen Betonüberdeckungen wurden nach den Brandversuchen an den ausgebauten Prüfkörpern nachgemessen und in den Diagrammen angegeben (siehe auch 8. Versuchskörpernachuntersuchungen S. 15). In einigen Stützen wurden auch Temperaturen an der Bügelbewehrung gemessen (Bild 11). Alle angegebenen Überdeckungsmaße von Bewehrungsstäben sind auf die Stabachsen bezogen.

In Bild 12 sind rechnerisch ermittelte Betontemperaturen den in den Versuchen registrierten Meßwerten gegenübergestellt.

### 7.3. Verformungsmessung

Die Verformungsmessungen geben Aufschluß über das Brandverhalten der Stützen. Bei beidseitig gelenkig gelagerten, nicht längsdehnungsbehinderten Stützen bestimmen in erster Linie die Ausbiegungen den Versagenszeitpunkt.

Bild 13 zeigt den Einfluß der Stützenschlankheit auf die Verformungs-Zeit-Kurve, Bild 14 den der Lastausmitte. Bei Schlankheiten  $s_k/d > 16$  für einen Querschnitt 300 mm x 300 mm nehmen die Ausbiegungen überproportional schnell zu. Die großen Verformungen führen zu beträchtlichen Zusatzmomenten, so daß die Stütze mit großer Schlankheit ( $s_k/d = 19$ ) erheblich früher versagt als die mit kleiner Schlankheit ( $s_k/d = 12$ ).

Zentrisch belastete Stützen zeigen in der Regel nur geringe Ausbiegungen (Stütze 75-2/2, Bild 14). Bei der Vorgabe einer kleinen planmäßigen Lastausmitte von  $e_o/d = 0,05$  (Querschnitt 300 x 300 mm, Stütze S 76-1/3) steigen die Ausbiegungen schneller an und führen zu einem um ca. 20 Minuten früheren Versagenszeitpunkt. Bei weiterer Vergrößerung der Lastausmitte sind die Unterschiede zwischen den einzelnen Verformungs-Zeit-Kurven jedoch nur noch gering (Bild 14), wobei der festgestellte Streubereich der Versuchskurven im wesentlichen durch die aufgetretenen Abplatzungen bestimmt wird (vergl. Stütze S 76-1/1 und S 75-2/1).

Eine Veränderung der Lastausmitte im Bereich  $e_o/d > 0,05$  beeinflusst somit das Biegeverhalten der Stützen nur wenig.

Die Meßergebnisse der thermisch bedingten Stützenlängenänderungen sind in den Bildern 15, 16 und 17 zusammengestellt. Die Meßpunkte für diese Verformungsmessung waren dabei identisch mit den Lasteinleitungspunkten, d. h. die Verformungswerte beschreiben in der Regel nicht die Dehnung der Querschnittsachse S, sondern die Dehnung der entsprechend der Lastausmitte ausmittig liegenden Querschnittsfaser A.

Dies ist auch der Grund dafür, daß Stützen mit der größten Lastausmitte bei kleinster Belastung (konstante Schlankheit) vom Meßergebnis her die geringsten Stützenverlängerungen zeigten (Bild 16). Sollen die Verformungswerte bezüglich der Querschnittsachse S dargestellt werden, sind die Meßwerte entsprechend den Stützenendverdrehungen zu korrigieren. Eine solche Korrektur ist in Bild 17 vorgenommen worden, indem aus der Messung der Stützenausbiegung die Endverdrehung geschätzt wurde. Die Korrekturwerte steigen mit zunehmender Ausmitte schnell an. Nach der Korrektur zeigt die Stütze mit der geringsten Last auch die größte Verlängerung. Eine zu den korrigierten Meßwerten analoge Abstufung weisen auch die rechnerisch ermittelten Kurven in Bild 17 auf (Bezugslinie in der Rechnung ist die Querschnittsachse S).

Alle Stützenverlängerungskurven zeigen nach Durchlaufen eines Maximums vor dem Eintreten des Bruches der Stütze einen je nach Stützenschlankheit und Lastausmitte mehr oder weniger stark ausgeprägten abfallenden Ast, der zeitlich mit verstärkt anwachsenden Ausbiegungen der Stütze zusammenfällt.

In Bild 18 ist für eine Stütze der Zusammenhang zwischen Stützenverlängerung und Stützenausbiegung dargestellt.

Die Verformungs-Zeit-Kurven aller Versuche sind im Anhang (Pkt. 13) enthalten.

#### 7.4. Feuerwiderstandsdauer

Die Versuche bestätigten die in der Rechnung prognostizierte ausgeprägte Schlankheitsabhängigkeit des Versagenszeitpunktes, obwohl die zulässige Auflast entsprechend DIN 1045 mit zunehmender Schlankheit stark zurückgeht (Bild 19). Für einen quadratischen Querschnitt mit 300 mm Kantenlänge reduziert sich die Feuerwiderstandsdauer von 90 Minuten bei einer Schlankheit  $s_k/d = 10$  auf 60 Minuten bei einer Schlankheit  $s_k/d = 20$ .

Demgegenüber verändert die Vergrößerung der Lastausmitte im Bereich  $0,05 < e_o/d \leq 0,5$  den Versagenszeitpunkt nicht wesentlich. Lediglich bei zentrischer oder gering exzentrischer ( $e_o/d \leq 0,05$ ) Lasteinleitung nahm die Feuerwiderstandsdauer deutlich zu (Zunahme um 20 - 30 Minuten, Bild 20). Bei zentrischer Belastung ( $e_o/d = 0$ ) ergaben sich erhebliche Versuchsstreuungen (Stützen 75-1/2 und 75-1/3, Tabelle 7), deren Ursache in dem Einfluß ungewollter einbau- und herstellungsbedingter Ausmittigkeiten zu sehen ist.

Da solche großen Versuchsstreuungen eine quantitative Analyse der Versuchsergebnisse beträchtlich erschweren, sollten zumindest geringe planmäßige Lastausmittigkeiten vorgegeben werden.

## 8. Versuchskörper-Nachuntersuchungen

### 8.1. Überprüfung der Betondeckung der Längsbewehrung

Schon geringe Änderungen der Betondeckung der Längsbewehrung führen zu erheblichen Änderungen der Temperaturen in den Bewehrungsseisen. Da die vorgesehene Betondeckung herstellungsbedingt in der Regel nicht exakt eingehalten werden kann (Abweichungen insbesondere an den Eckeisen), wurden die tatsächlich vorhandenen Betondeckungen nach dem Brandversuch ausgemessen. Für einen Querschnitt im mittleren Stützenbereich sind die Werte der Stützen der Serie S 75 und S 76 in Tabelle 9 eingetragen.

### 8.2. Restfestigkeiten nach dem Brandversuch nach erfolgter Abkühlung

Zur Beurteilung brandgeschädigter Bauteile für eine Wiederherstellung oder Sanierung dieser Gebäudeteile sind Kenntnisse über die vorhandenen Restfestigkeiten der verwendeten Materialien und der verbliebenen Tragfähigkeit dieser Bauteile nach erfolgter Temperaturbelastung erforderlich.

Daher wurden einige der Stützen nach dem Brandversuch und erfolgter Abkühlung hinsichtlich ihrer noch vorhandenen Resttragfähigkeit untersucht. Zu diesem Zweck wurden Stützenabschnitte außerhalb des eigentlichen Bruchbereichs herausgetrennt.

Bestimmend für die Resttragfähigkeit ist das während des Brandes erreichte Temperaturniveau. Neben der Aufheizphase muß jedoch auch die Abkühlphase mit in die Untersuchung einbezogen werden. Nach Eintreten des Bruches wurden die Ölbrenner abgestellt. Unter Zuführung kalter Gebläseluft bei Betrieb des Heißgasabzuges kühlte die Stütze anschließend langsam ab. Aufheiz-, Abkühlphase und Temperaturverläufe in der Stütze des Versuchs 76-1/3 sind in Bild 21 dargestellt.

Aus den Stützen 75-1/1 und 75-2/2 wurden aus der Querschnittsmitte in Achsrichtung Bohrkerne mit ca. 10 cm Durchmesser und 10 cm Höhe entnommen. Es kann angenommen werden, daß die Kerne auf Temperaturen von ca. 250 °C erwärmt worden sind. Die ermittelten Druckfestigkeiten der Bohrkerne (siehe Tabelle 10) zeigten keine signifikanten Unterschiede zu den "kalten" Festigkeitswerten (Tabelle 5).

Aus mehreren Stützen wurden auch Proben der naturharten Längsbewehrung ausgebaut. Die Ergebnisse der Zugfestigkeitsversuche an Proben aus den Stützen 75-1/3 und 75-2/2 enthält die Tabelle 11. Deutliche Veränderungen der Festigkeiten gegenüber den Ausgangswerten (Tabelle 2) waren nicht festzustellen.

Außerdem wurden auch ganze Stützenabschnitte auf ihre Resttragfähigkeit untersucht. Über diese Ergebnisse wird in [9] berichtet werden.

#### 9. Zukünftige Stützenversuche im SFB 148

Das Brandverhalten nicht längsdehnungsbehinderter Stützen kann mit den zur Zeit im SFB 148 zur Verfügung stehenden Rechenmodellen ausreichend genau beschrieben werden. Damit können umfassende Parameterstudien rechnerisch durchgeführt [10] und Konstruktionsregeln für die Praxis gefunden werden. Der Einfluß der Schlankheit der Stützen auf die Feuerwiderstandsdauer und das Tragverhalten biegebeanspruchter Stützen ist auch experimentell hinreichend geklärt.

Zukünftige Versuche und rechnerische Studien werden sich verstärkt beschäftigen mit

- längsdehnungsbehinderten Stützen,
- statisch unbestimmt gelagerten Stützen,
- anderen Werkstoffen, wie kalzitischen Betonzuschlägen oder dem Leichtbeton,
- der Veränderung der Beflammung (z. B. dreiseitige Beflammung).

Daneben sind auch Untersuchungen zum Einfluß der Bügelbewehrung auf das Brandverhalten von Stützen geplant.

#### 10. Literaturverzeichnis

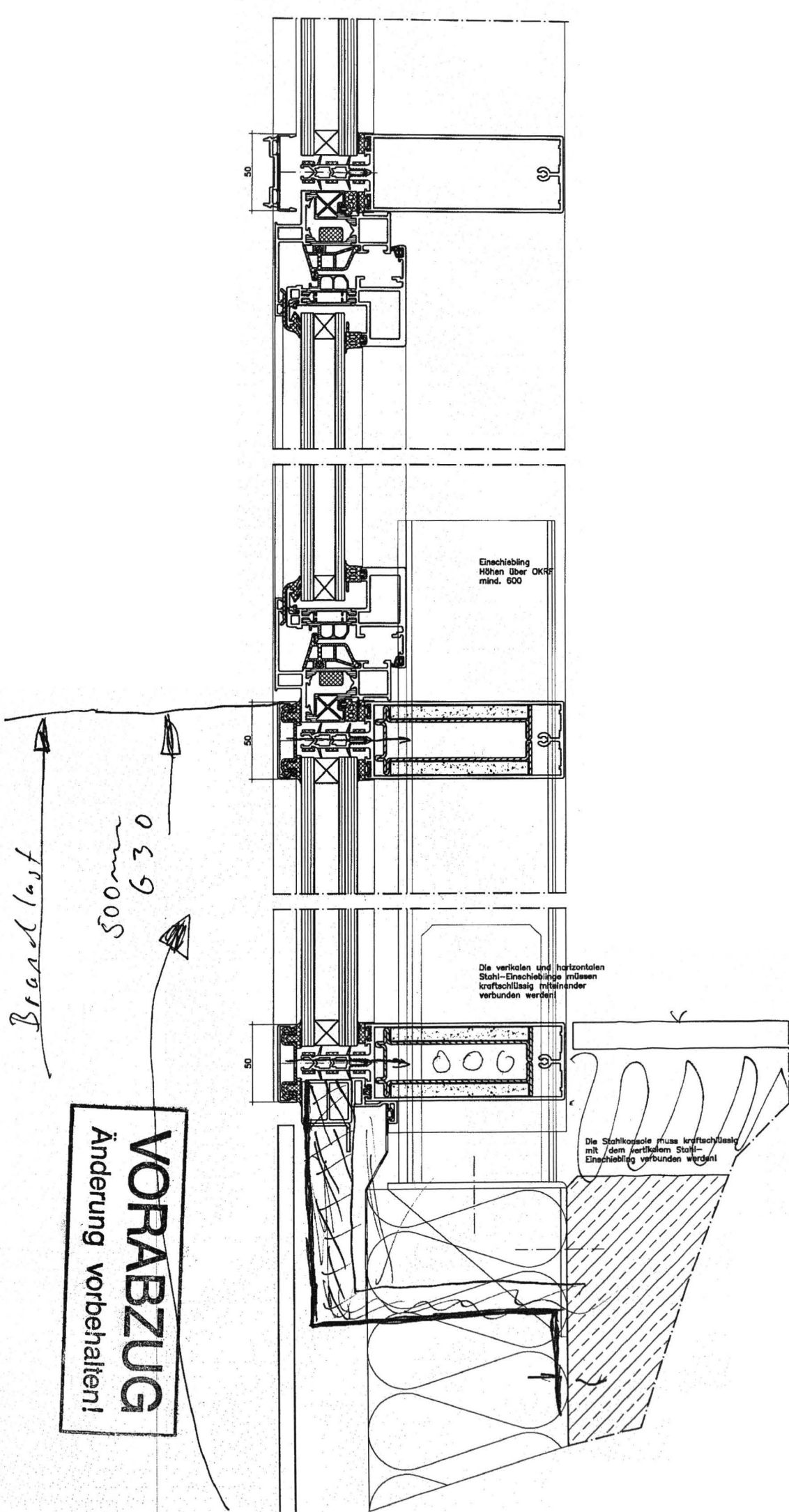
[1] Schulze, F., Wedler, B.:

Brandversuche mit belasteten Eisenbetonbauteilen, Teil II.  
Deutscher Ausschuß für Stahlbeton, Heft 92, (1939).

Hummel, A., Hermann, M., Domöhl, E.:

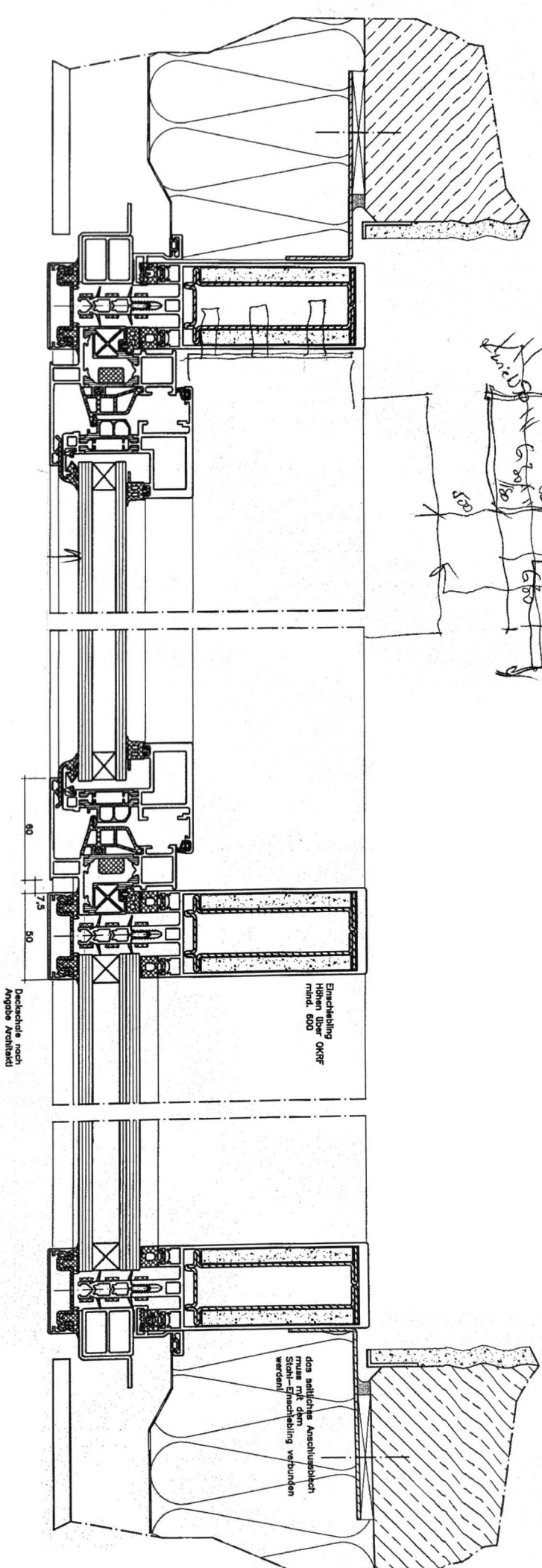
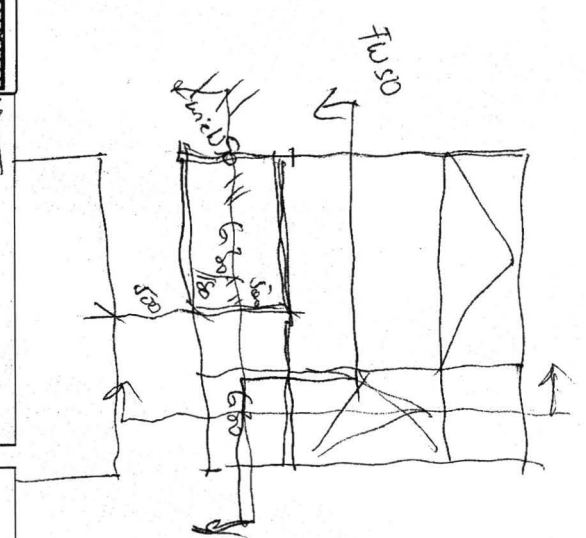
Brandversuche mit belasteten Eisenbetonbauteilen, Teil III.  
Deutscher Ausschuß für Stahlbeton, Heft 92, (1942).







Chausseelackfeld



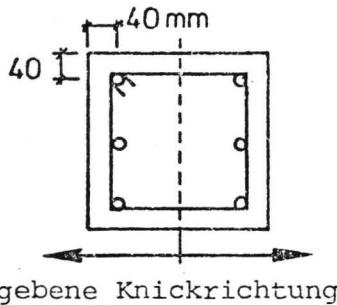
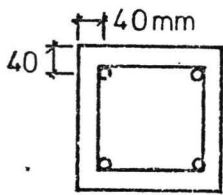
horizontaler Schnitt

Vo

**VORABZUG**  
Änderung vorbehalten!

- [2] Seekamp, H.:  
Brandversuche mit stark bewehrten Stahlbetonsäulen.  
Deutscher Ausschuß für Stahlbeton, Heft 132, (1959).  
Becker, W., Stanke, J.:  
Brandversuche an Stahlbetonfertigstützen.  
Deutscher Ausschuß für Stahlbeton, Heft 215, (1970).
- [3] Thomas, P.H., Webster, C.T.:  
The Fire Resistance of Reinforced Concrete Columns.  
National Building Studies, Research Paper No. 18, (1953).
- [4] Haksever, A.:  
Zur Frage des Trag- und Verformungsverhaltens ebener Stahlbetonrahmen  
im Brandfall.  
Dissertation, Technische Universität Braunschweig, (1977).
- [5] Klingsch, W.:  
Traglastberechnung instationär thermisch belasteter schlanker Stahlbeton-  
druckglieder mittels zwei- und dreidimensionaler Diskretisierung.  
Dissertation, Technische Universität Braunschweig, (1975).
- [6] Djamous, F.:  
Thermische Zerstörung natürlicher Zuschlagstoffe im Beton.  
Dissertation, Technische Universität Braunschweig, (1977).
- [7] Meyer-Ottens, C.:  
Abplatzversuche an Prüfkörpern aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton  
bei verschiedenen Temperaturbeanspruchungen.  
Deutscher Ausschuß für Stahlbeton, Heft 241, (1974).
- [8] Kordina, K., Schneider, U., Haksever, A., Klingsch, W.:  
Zur Berechnung von Stahlbetonkonstruktionen im Brandfall.  
Beitrag aus Heft 1 der Schriftenreihe des Sonderforschungsbereichs 148  
der Technischen Universität Braunschweig, (1975).

- [9] Klingsch, W., Weber, V.:  
Resttragfähigkeit von Stahlbetonbauteilen nach Brandeinwirkung.  
(in Vorbereitung).
- [10] Klingsch, W.:  
Rechnerische Untersuchungen zum Tragverhalten brandbeanspruchter  
Stahlbetonstützen - Parameterstudie.  
Beitrag im Arbeitsbericht 1975 - 1977 des Sonderforschungsbereichs 148  
der Technischen Universität Braunschweig, (1977).

Geometrie	$b/d = 300/300 \text{ mm}$  $6 \varnothing 20$ Bügel $\varnothing 8$ Bügelabstand $a = 24 \text{ cm}$	
	$b/d = 200/200 \text{ mm}$  $4 \varnothing 20$ Bügel $\varnothing 8$ Bügelabstand $a = 20 \text{ cm}$	
	Stützenlänge: veränderlich von 3,8 bis 5,8 m	
Baustoffe	Beton: Mischung A + B (siehe Tabelle 3) Stahl: Längsbewehrung BSt 420/500 RU Bügel BSt 420/500 RK	
thermische Randbedingungen	Beflammung allseitig und in Stützenlängsrichtung konstant (Brandraumtemperaturverlauf gemäß der ETK nach DIN 4102)	
statische Randbedingungen	<ul style="list-style-type: none"><li>- Stütze beidseitig gelenkig gelagert</li><li>- Einachsige Biegung mit gleichsinnigen und gleich-großen Endexzentrizitäten (Variation von <math>e_o/d</math>: <math>0 \leq e_o/d \leq 0,5</math>)</li><li>- konstante <math>N_o - e_o</math>-Kombination während des Versuchs (freie thermische Längsdehnung der Stütze)</li></ul>	
Tabelle 1: Grundwerte der Versuche		

		Serie S 75			Serie S 76		
		Streckgrenze	Zugfestigkeit	Bruchdehnung $\delta_{10}$	Streckgrenze	Zugfestigkeit	Bruchdehnung $\delta_{10}$
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	%	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	%
BSt 420/500 RU Durchmesser: 20 mm (Längsbewehrung)	Nr. 1	489	797	16,5	472	788	13,0
	Nr. 2	489	789	16,5	470	787	14,0
	Nr. 3	486	792	18,0	477	796	13,0
	Nr. 4	489	792	17,3	472	795	15,0
	Nr. 5	483	790	16,0	457	728	18,5
	Nr. 6	-	-	-	453	727	18,3
	Nr. 7	-	-	-	450	724	18,0
	Nr. 8	-	-	-	449	724	17,5
BSt 420/500 RK Durchmesser: 8 mm (Bügel)	Nr. 1				445	529	10,0
	Nr. 2				464	560	10,0
	Nr. 3				470	559	10,6
	Nr. 4				483	588	11,3
	Nr. 5				456	549	12,5
	Nr. 6				467	555	10,0

Tabelle 2: Festigkeitswerte der eingebauten Bewehrung

alle Angaben pro m <sup>3</sup> verdichteter Beton		Mischung A (Serie S 75)	Mischung B (Serie S 76)
Zement		PZ 35F: 285 kg/m <sup>3</sup>	PZ 35F: 260 kg/m <sup>3</sup>
Wasser (gesamt)		180 l/m <sup>3</sup>	180 l/m <sup>3</sup>
W/Z-Wert		0,63	0,69
Zuschläge (mit Eigenfeuchte):			
0 - 2 mm		780 kg/m <sup>3</sup>	790 kg/m <sup>3</sup>
2 - 8 mm		380 kg/m <sup>3</sup>	420 kg/m <sup>3</sup>
8 - 16 mm		755 kg/m <sup>3</sup>	715 kg/m <sup>3</sup>
Flugasche		40 kg/m <sup>3</sup>	60 kg/m <sup>3</sup>
Frischbetonrohddichte		2345 kg/m <sup>3</sup>	2345 kg/m <sup>3</sup>
Luftporengehalt		1,0 %	1,5 %
Ausbreitmaß (festgestellt am Betoniertag)		40 cm	43 cm
Herkunft der Zuschläge:	0 - 2 mm	Wedtlenstedt (bei Braunschweig)	
	2 - 16 mm	Isingerode (b. Schladen/Vorharz)	

Tabelle 3: Rezepturen der verwendeten Betonmischungen

	Angaben in Gew.-%			
	2 - 4 mm	4 - 8 mm	8 - 16 mm	2 - 16 mm
Flint	-	-	-	-
Sandstein	29,3	30,1	32,2	30,5
Kalkstein	-	-	-	-
Grauwacke	-	2,1	2,7	1,7
Kalkschiefer	5,9	5,9	6,8	6,2
Tonschiefer	28,6	36,5	35,1	33,4
Quarzit	3,0	4,2	6,2	4,5
Granit	19,2	10,2	6,1	11,8
Quarzit + Feldspat	12,2	3,9	2,6	6,2
Verschiedenes	1,8	7,1	8,3	5,7
Tafel 4: Petrographische Zusammensetzung von Proben einer Kiesgrube in Isingerode/Vorharz, entnommen aus [6]				

alle Festigkeitswerte in N/mm <sup>2</sup>	Serie S 75 (Beton A)						Serie S 76 (Beton B)					
	Probe 1	2	3	4	5	6	Probe 1	2	3	4	5	6
Würfeldruckfestigkeit 200x200x200 mm n.28 Tg.	28,6	28,6	28,6	-	-	-	33,0	27,7	32,0	-	-	-
Zylinderdruckfestigkeit Ø 150 mm, h = 300 mm nach 28 Tagen	22,8	21,8	17,4 <sup>1)</sup>	-	-	-	22,2	31,2	32,2	30,8	32,0	32,2
Balkenbiegezugfestigkeit 150x150x700mm n.28 Tagen	-	-	-	-	-	-	5,0	5,0	5,3	-	-	-
E-Modul (ermittelt an Zy- lindern Ø 150 mm, h = 300mm) nach 28 Tagen	20700	21900	-	-	-	-	28300	28400	31200	-	-	-
Würfeldruckfestigkeit 200x200x200mm n.5-6Monaten	31,6	26,5	22,0 <sup>1)</sup>	-	-	-	36,0	39,5	35,2	41,0	34,7	35,7
Zylinderdruckfestigkeit Ø 150mm, h = 300 mm nach 5 - 6 Monaten	23,0	17,5 <sup>1)</sup>	16,9 <sup>1)</sup>	-	-	-	36,6	36,8	36,4	-	-	-
E-Modul nach 5 Monaten	-	-	-	-	-	-	26600	26700	26900	-	-	-
Tabelle 5: Materialkennwerte des Betons												

1) ungenügende Verdichtung einiger Probekörper



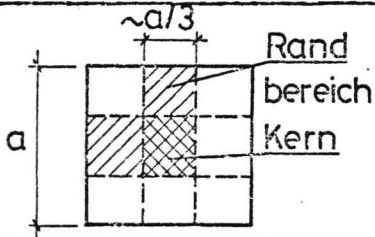
Stützen- querschnitt a x a	Alter der Probe zum Zeitpunkt der Feuchtebestimmung		Betonfeuchte <sup>2)</sup> [%] , bezogen auf das Trockengewicht							
			Serie S 75			Serie S 76				
			Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4	
[mm x mm]	[Monate]	-								
300 x 300	5 - 6	Randbereich	3,1 <sup>1)</sup>	2,5 <sup>1)</sup>	2,9 <sup>1)</sup>	4,0	4,0	-	-	
		Kern	4,0 <sup>1)</sup>	-	-	5,8	-	-	-	
200 x 200	5 - 6	Randbereich	2,0 <sup>1)</sup>	2,5 <sup>1)</sup>	3,2 <sup>1)</sup>	3,8	3,6	4,0	3,8	
		Kern	-	-	-	5,8	6,0	-	-	
300 x 300	12	Randbereich	2,3	2,1	-					
		Kern	4,2	-	-					
200 x 200	12	Randbereich	2,8	2,0	-					
		Kern	3,8	-	-					

Tabelle 6: Ermittlung der Betonfeuchte

1) wahrscheinlich fehlerhafte Feuchtebestimmung (zu kleine Feuchtwerte)

2) ermittelt durch Trocknung bei 105 °C

15  
90  
150

Brandversuche an Stahlbetonstützen (Serie S 75 und S 76)									
Lfd. Nr.	Prüf-Nr.	Querschnitt	Stützenlänge	Alter der Stütze zum Versuchszeitpunkt	Betonmischung 5)	Belastung $N_{0,e0}$ 1)	Ausmitte $e_0$ 1)	Feuerwiderstandsdauer $t_u$	Bemerkung
-	-	mm	m	Monate	-	kN	mm	min	-
1	75-1/2	300 x 300	3,8	5,5	A	930	0	84	Eckabplatzung in der 14. Min.
2	75-1/3	300 x 300	3,8	6	A			138	keine Abplatzung
3	75-1/1	300 x 300	3,8	6	A	710	30	86	keine Abplatzung
4	75-2/2	300 x 300	4,8	6,5	A	880	0	108	keine Abplatzung
5	76-1/3	300 x 300	4,8	6	B	740	15	85	keine Abplatzung
6	75-2/1	300 x 300	4,8	6,5	A	650	30	63	Eckabplatzungen, 12. und 14. min.
7	76-1/2	300 x 300	4,8	6	B			69	Eckabplatzung in der 23. min.
8	76-1/1	300 x 300	4,8	12	B			80	Keine Abplatzungen
9	76-3/2	300 x 300	4,8	6	B	460	90	75	Eckabplatzungen, 13. und 17. min.
10	76-3/3	300 x 300	4,8	6	B	360	150	65	Eckabplatzung in der 18. min.
11	75-3/2	300 x 300	5,8	13	A	800	0	58	3)
12	75-3/1	300 x 300	5,8	12,5	A	610	30	61	Keine Abplatzung
13	75-4/1	200 x 200	3,8	5	A	420	0	58	3)
14	75-4/2	200 x 200	3,8	6	A			66	keine Abplatzung
15	75-5/1	200 x 200	4,8	6	A	340	0	15 <sup>2)</sup>	Starke Abplatzungen, 12. und 13. min.
16	75-5/2	200 x 200	4,8	6,5	A			48	keine Abplatzung
17	76-2/1	200 x 200	4,8	5	B	280	10	49	keine Abplatzung
18	76-2/2	200 x 200	4,8	5,5	B	240	20	36	Starke Abplatzungen, 14. und 19. min.
19	76-4/1	200 x 200	4,8	5,5	B	170	60	49	keine Abplatzung
20	76-4/2	200 x 200	4,8	5,5	B	130	100	53	keine Abplatzung

Tabelle 7: Brandversuche an Stahlbetonstützen (Serie S 75 und S 76) 4)

1)  $N_{0,e0}$ : maximal zulässige Gebrauchslastkombination nach DIN 1045,

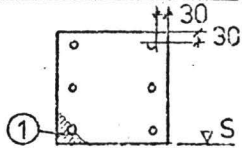
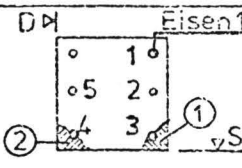
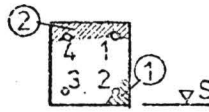
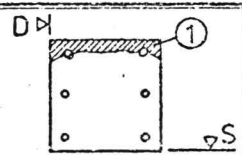
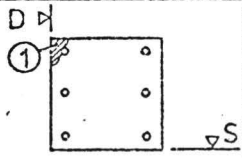
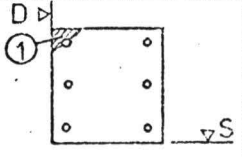
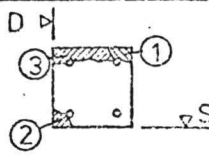
2) nach großen Abplatzungen Versuchsabbruch in der 15. Minute,

3) veränderliche Belastung während des Versuchs bzw. teilweise Dehnungsbehinderung. (Vorversuche),

4) die Stützen: S 76-1/4, S 76-3/1, S 76-3/4 wurden dehnungsbehindert geprüft und nicht in diese Tabelle mit aufgenommen,

5) Betongüte: B 25 (Bn 250)

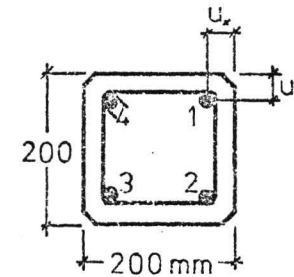
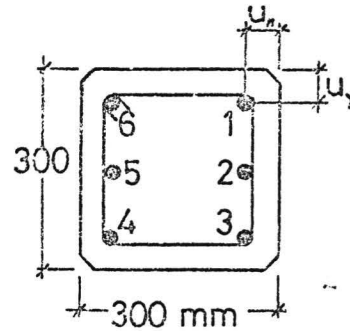
ohne Lin

Stützen Nr.	Quer- schnitt	Alter zum Versuchs- zeitpunkt	Lage der Abplatzung	Beschreibung der Abplatzung
—	mm×mm	Monate		
75-1/2	300×300	5,5		Abplatzung 1: 14. min auf gesamter Stützenlänge
75-2/1	300×300	6,5		Abplatzung 1: 12. min auf 1 m Länge im oberen Stützendrittel  Abplatzung 2: 14. min auf gesamter Stützenlänge
75-5/1	200×200	6		Abplatzung 1: 13. min auf gesamter Stützenlänge  Abplatzung 2: 15. min auf 2 m Länge im mittleren Stützendrittel
76-1/2	300×300	6		Abplatzung 1: 23. min auf 1 m Länge in der unteren Stützhälfte
76-3/2	300×300	6		Abplatzung 1: 17. min auf 2 m Länge im mittleren Stützendrittel
76-3/3	300×300	6		Abplatzung 1: 18. min auf 2 m Länge im mittleren Stützendrittel
76-2/2	200×200	5,5		Abplatzung 1: 14. min auf 1 m Länge im mittleren Stützendrittel  Abplatzung 1: 17. min auf gesamter oberer Stützhälfte  Abplatzung 3: 19. min auf 1,5 m Länge im mittleren Stützendrittel

—v S: Lage des Schalbodens b. Betonieren —vD: stärker gedrückte Seite bei exzentr. Belastung

Tabelle 8 : Abplatzung an Stahlbetonstützen

Betonüberdeckung der Längsbewehrung  
im mittleren Stützenbereich [mm]



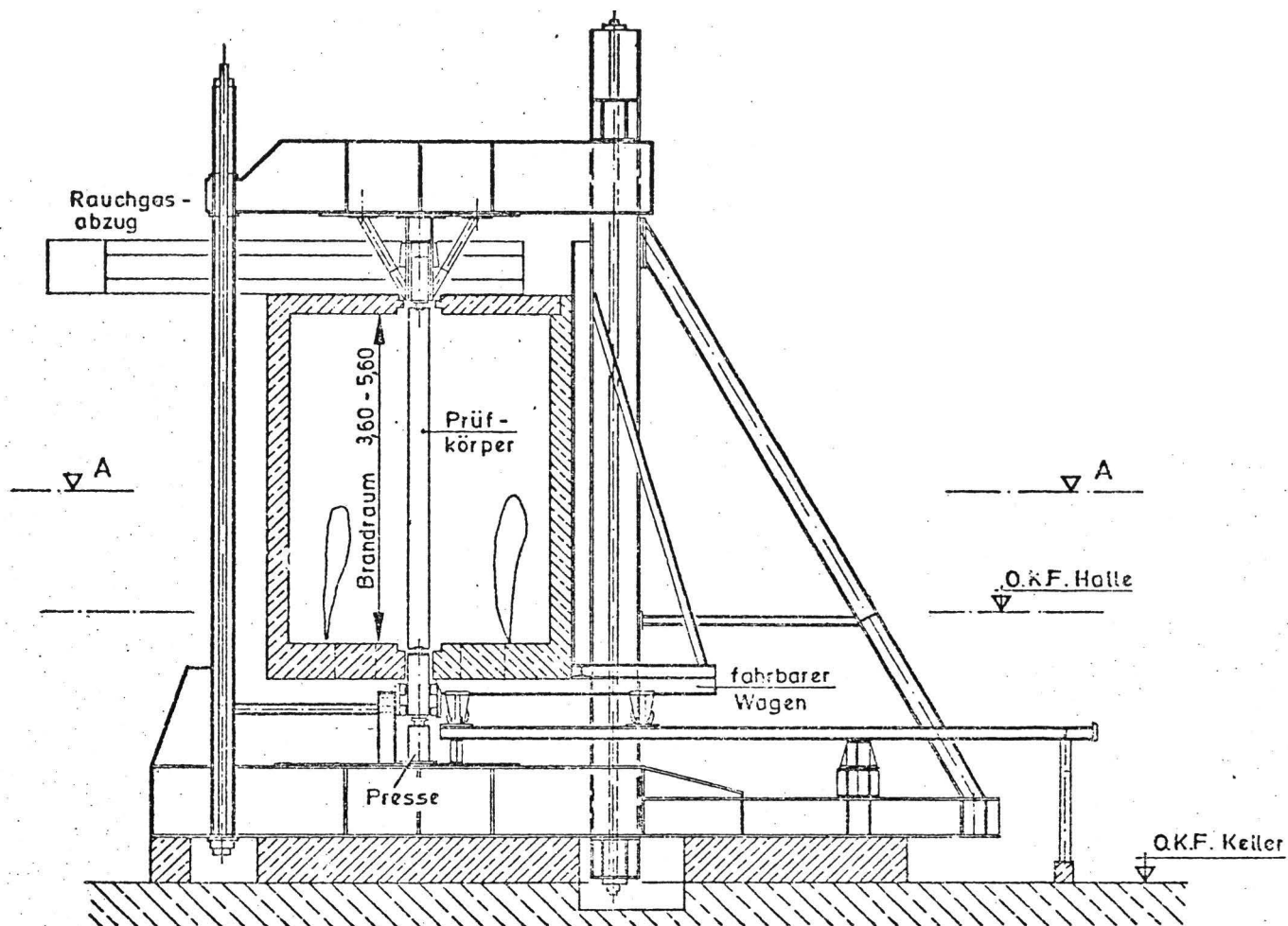
Sollwert:

$$u_x = u_y = 40 \text{ mm}$$

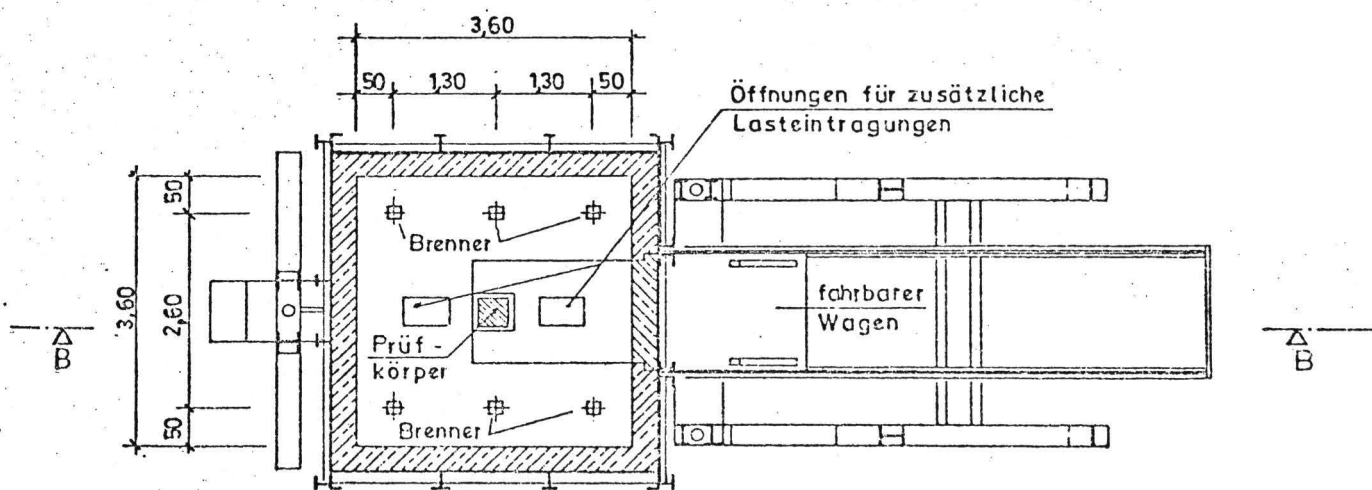
Serie S 75												Serie S 76													
Stütze	Eisen 1		Eisen 2		Eisen 3		Eisen 4		Eisen 5		Eisen 6		Stütze	Eisen 1		Eisen 2		Eisen 3		Eisen 4		Eisen 5		Eisen 6	
	$u_x$	$u_y$	$u_x$	$u_y$	$u_x$	$u_y$	$u_x$	$u_y$	$u_x$	$u_y$	$u_x$	$u_y$		$u_x$	$u_y$	$u_x$	$u_y$	$u_x$	$u_y$	$u_x$	$u_y$	$u_x$	$u_y$	$u_x$	$u_y$
1/1	40	56	40	-	43	40	40	40	40	-	42	52	1/1	42	46	40	-	45	39	42	43	40	-	46	45
1/2	40	50	35	-	40	40	45	35	40	-	40	50	1/2	52	44	44	-	44	38	44	38	36	-	42	50
1/3	40	55	40	-	40	40	45	40	40	-	50	55	1/3	49	42	43	-	45	46	44	38	37	-	43	50
2/1	42	52	38	-	44	39	43	39	41	-	47	50	2/1	47	44	52	41	45	40	43	44	-	-	-	-
2/2	38	53	42	-	44	38	41	42	37	-	43	50	2/2	44	39	44	44	47	42	42	43	-	-	-	-
3/1	42	48	35	-	30	45	48	38	40	-	42	55	3/2	45	40	40	-	40	50	45	45	40	-	45	45
3/2	47	52	40	-	40	42	47	38	42	-	38	55	3/3	44	48	40	-	45	42	46	41	41	-	40	48
4/1	45	40	40	40	47	35	40	45	-	-	-	-	4/1	47	40	50	46	44	43	44	43	-	-	-	-
4/2	40	45	40	45	45	40	40	50	-	-	-	-	4/2	36	48	38	43	46	47	44	43	-	-	-	-
5/1	-	-	-	-	nicht ausgemessen					-	-	-	Tabelle 9: Betondeckung der Längsbewehrung (Kontrollmessung)												
5/2	40	45	40	40	40	40	40	40	-	-	-	-													

Stütze	Probe-Nr.	Abmessungen der Bohrkerne		Druckfestigkeit
		Durchmesser	Höhe	
-	-	mm	mm	N/mm <sup>2</sup>
75-1/1	1	98	113	27,7
	2	98	112	29,8
	3	98	112	26,7
75-2/2	1	98,5	113	28,9
	2	98,5	113	26,7
	3	98,5	113	26,1
<u>Tabelle 10:</u> Betondruckfestigkeit nach dem Brandversuch (ermittelt an aus den Stützen entnommenen Bohrkernen)				

Stütze	Probe Nr.	Streckgrenze	Zugfestigkeit	Bruchdehnung $\delta_{10}$
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	%
75-1/3	1	386	655	13,8
	2	462	761	18,0
	3	424	694	16,8
	4	398	690	17,0
	5	470	788	17,3
	6	399	676	17,5
75-2/2	1	467	761	16,5
	2	475	795	16,0
	3	412	690	18,0
	4	424	708	9,5
	5	479	791	14,5
	6	467	770	15,0
<u>Tabelle 11:</u> Festigkeitswerte der Längsbewehrung nach dem Brandversuch (BSt 420/500, Durchmesser: 20 mm)				



Schnitt B - B



Schnitt A - A

Bild 1: Brandversuchsstand für Stützen des SFB 148

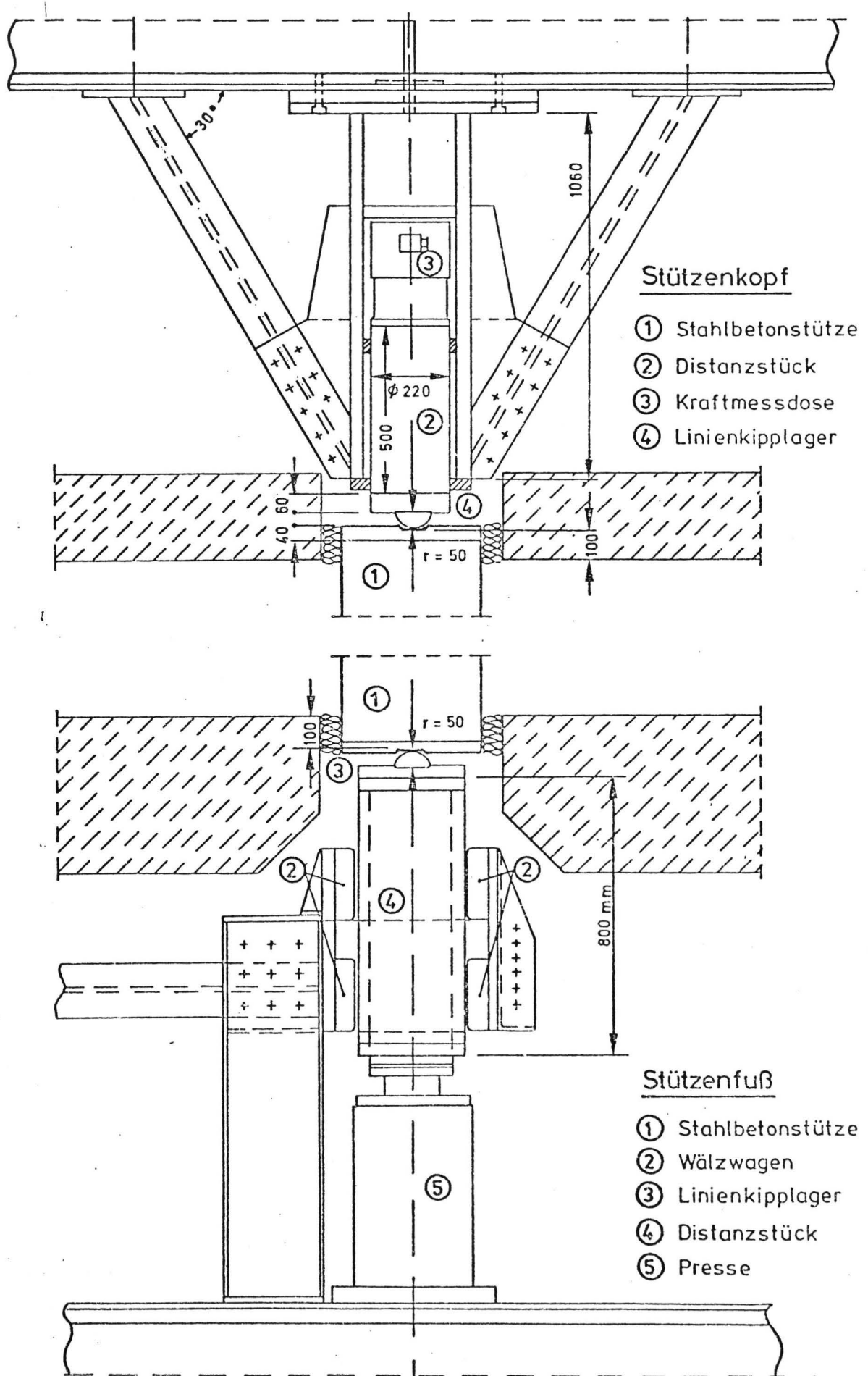


Bild 2: Konstruktive Ausbildung der Auflagerpunkte



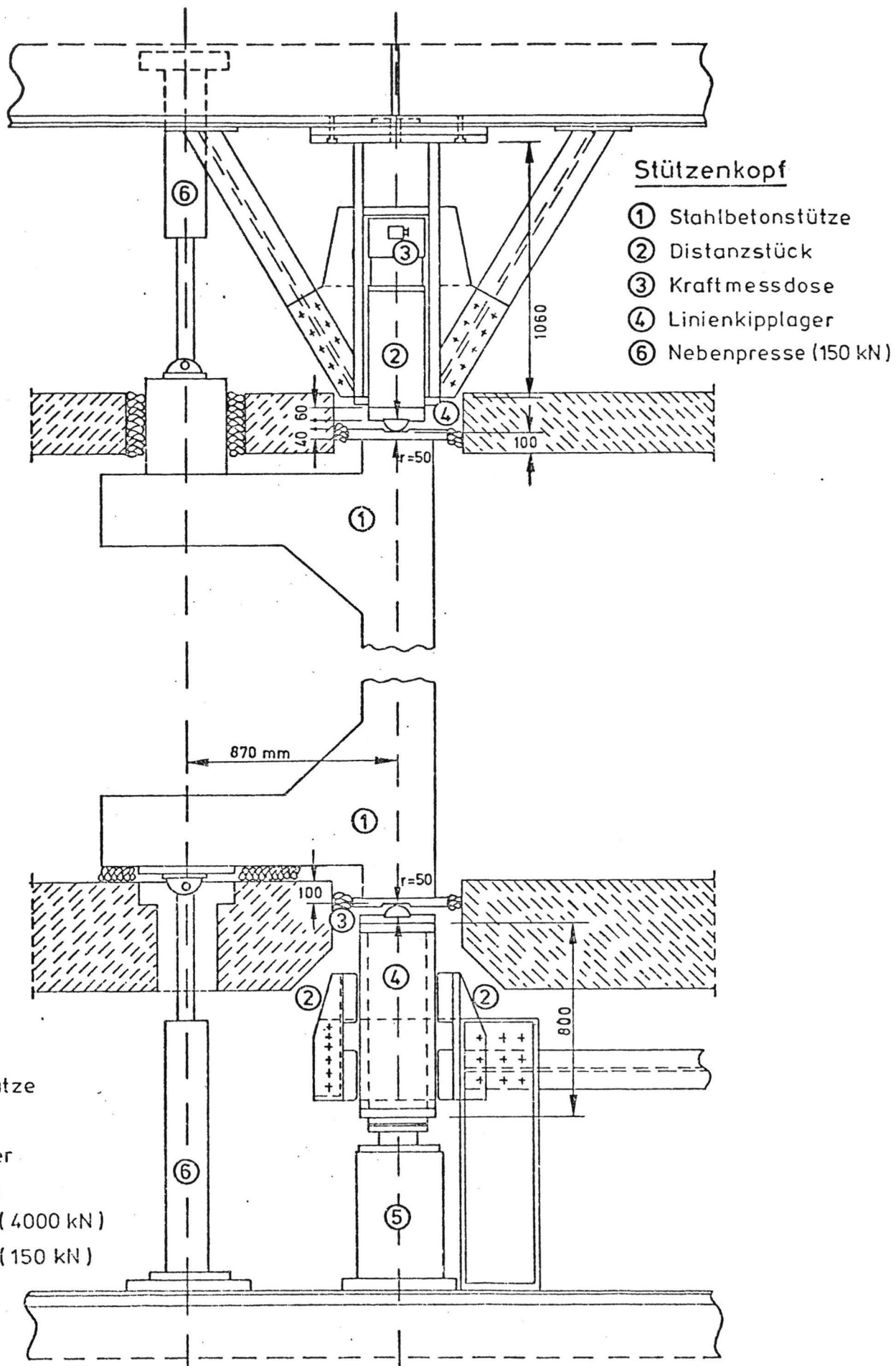
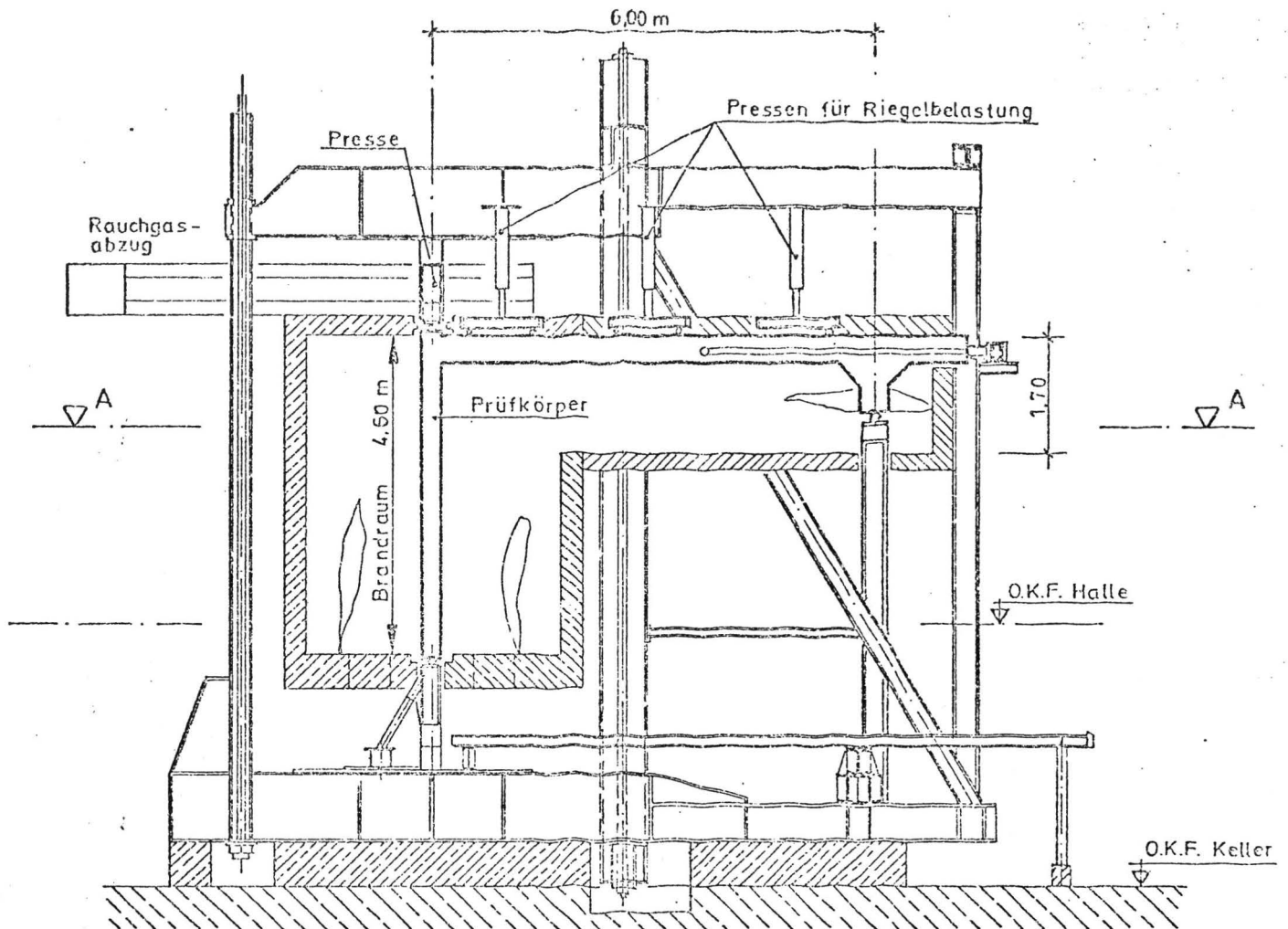


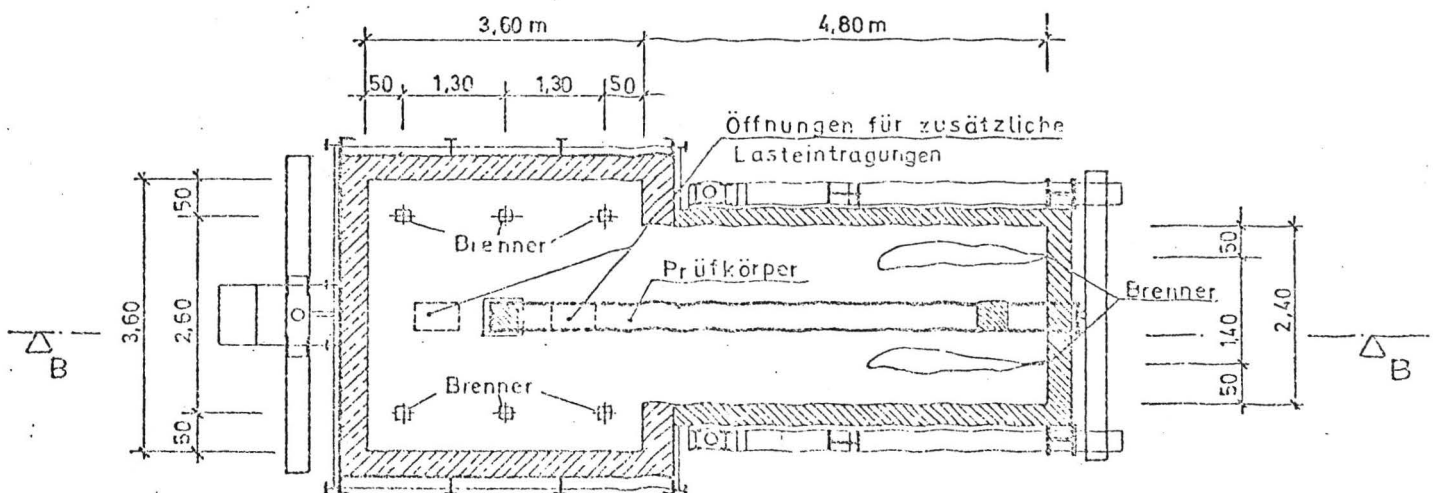
Bild 3: Stützenversuch mit großer Lastausmitte

Mögliche Lagerungsfälle				
ohne Längsdehnungsbehinderung		mit Längsdehnungsbehinderung		
Mögliche statische Belastung				
zentrisch	exzentrisch			
Mögliche thermische Beanspruchung				
in Stützenlängsrichtung		auf dem Stützenumfang		
konstant	veränderlich	allseitig	3-seitig	1-seitig

Bild 3a: Übersicht über mögliche Lagerungsfälle und statische und thermische Belastungsfälle im Stützenbrandhaus des SFB 148



Schnitt B-B



Schnitt A-A

Bild 4: Brandversuchsstand für einhüftige Rahmen des SFB 148

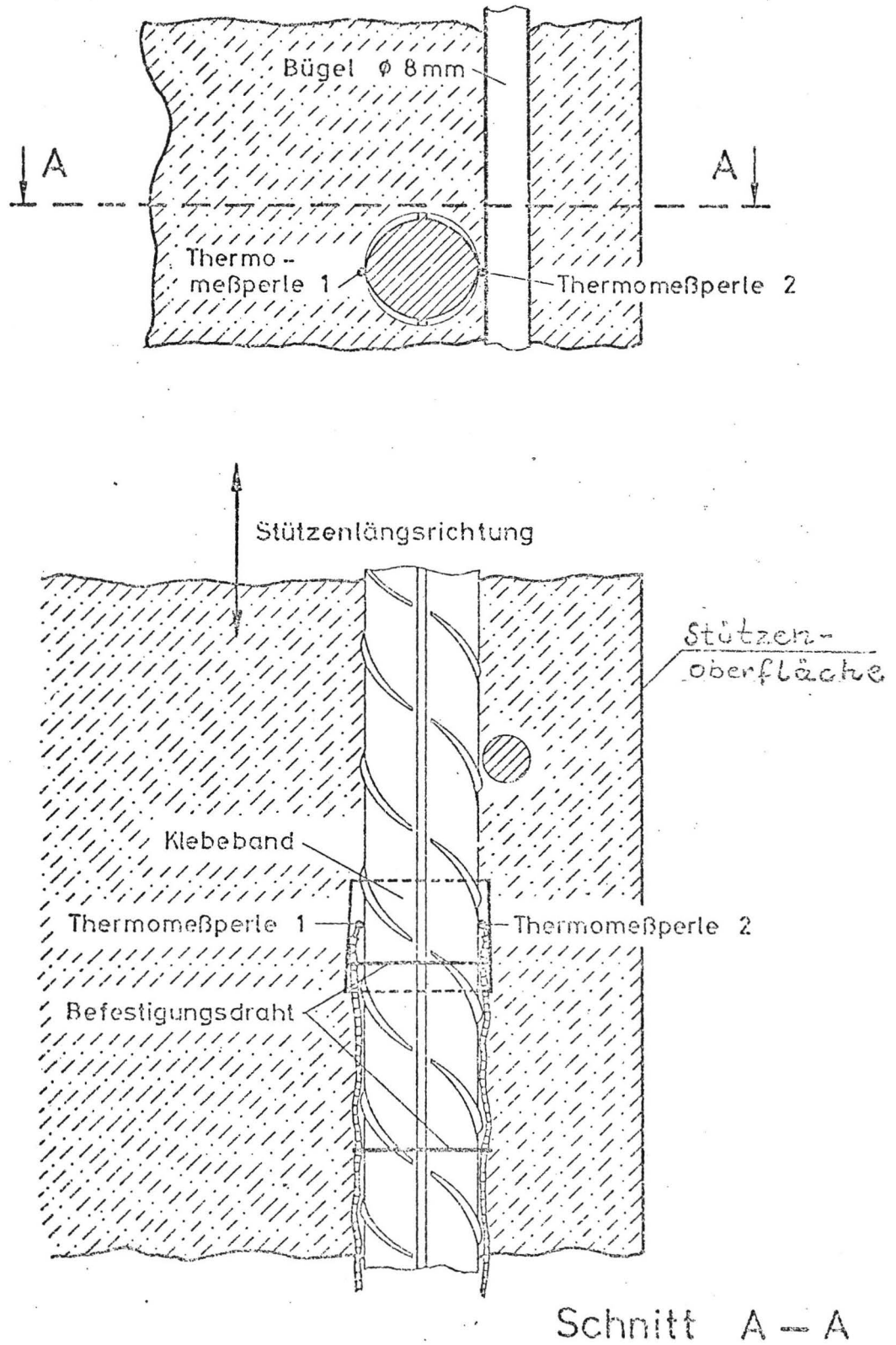


Bild 5: Befestigung von Thermoelementen am Bewehrungsseisen

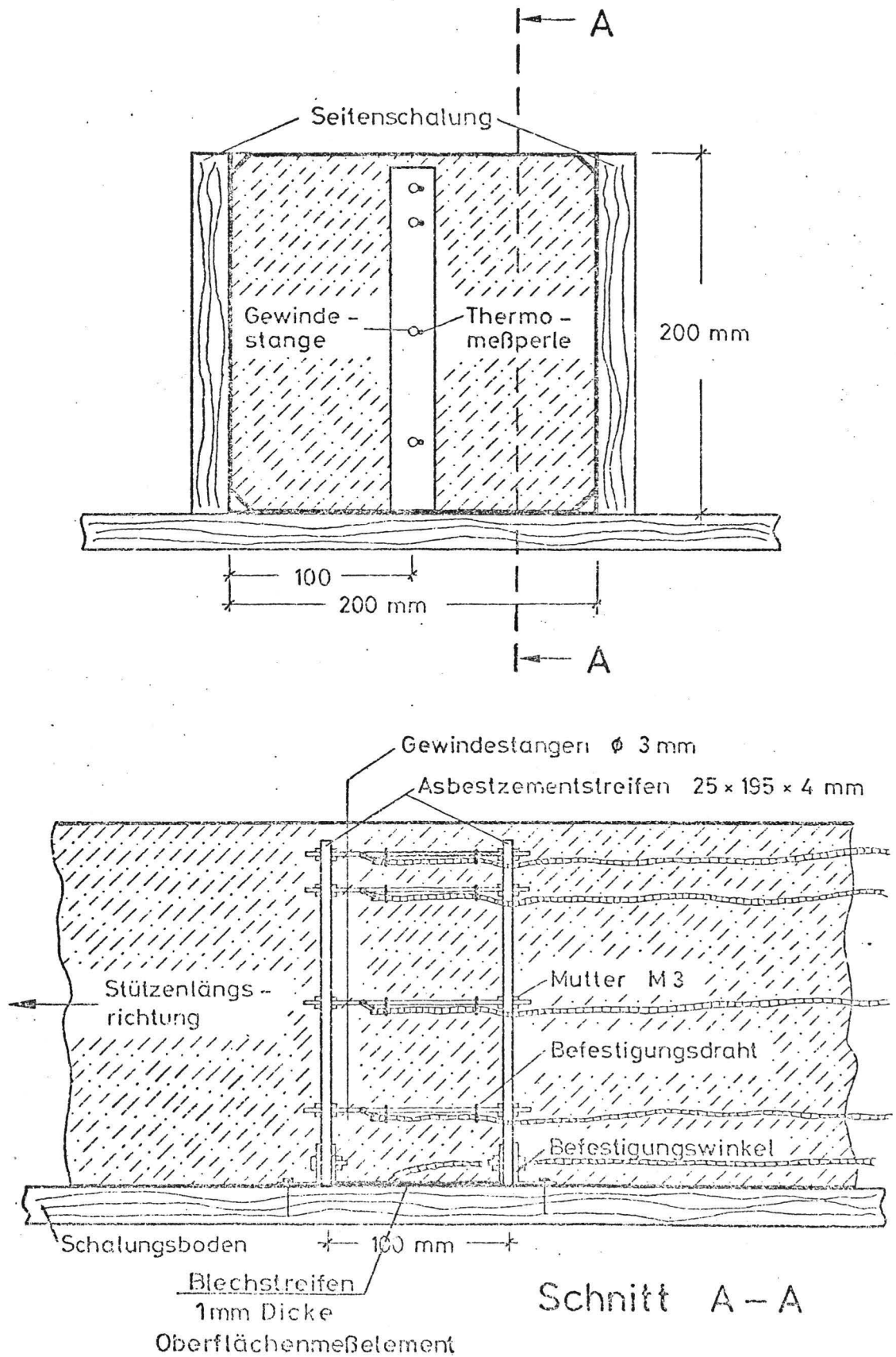


Bild 6: Fixieren der Thermolemente im Beton mit Hilfe von Meßleitern

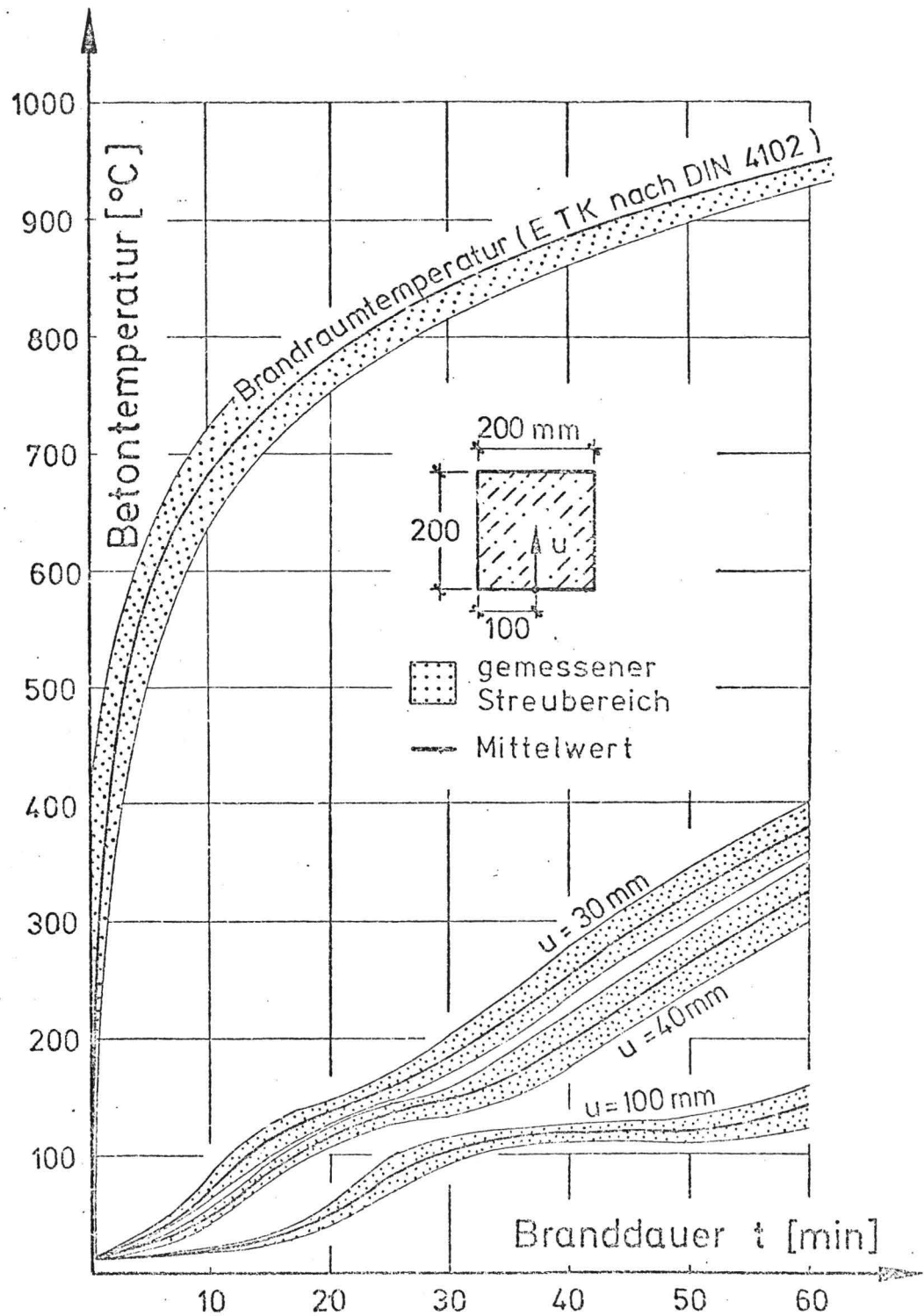


Bild 7: Gemessene Betontemperaturen - Stützenquerschnitt 200 x 200 mm

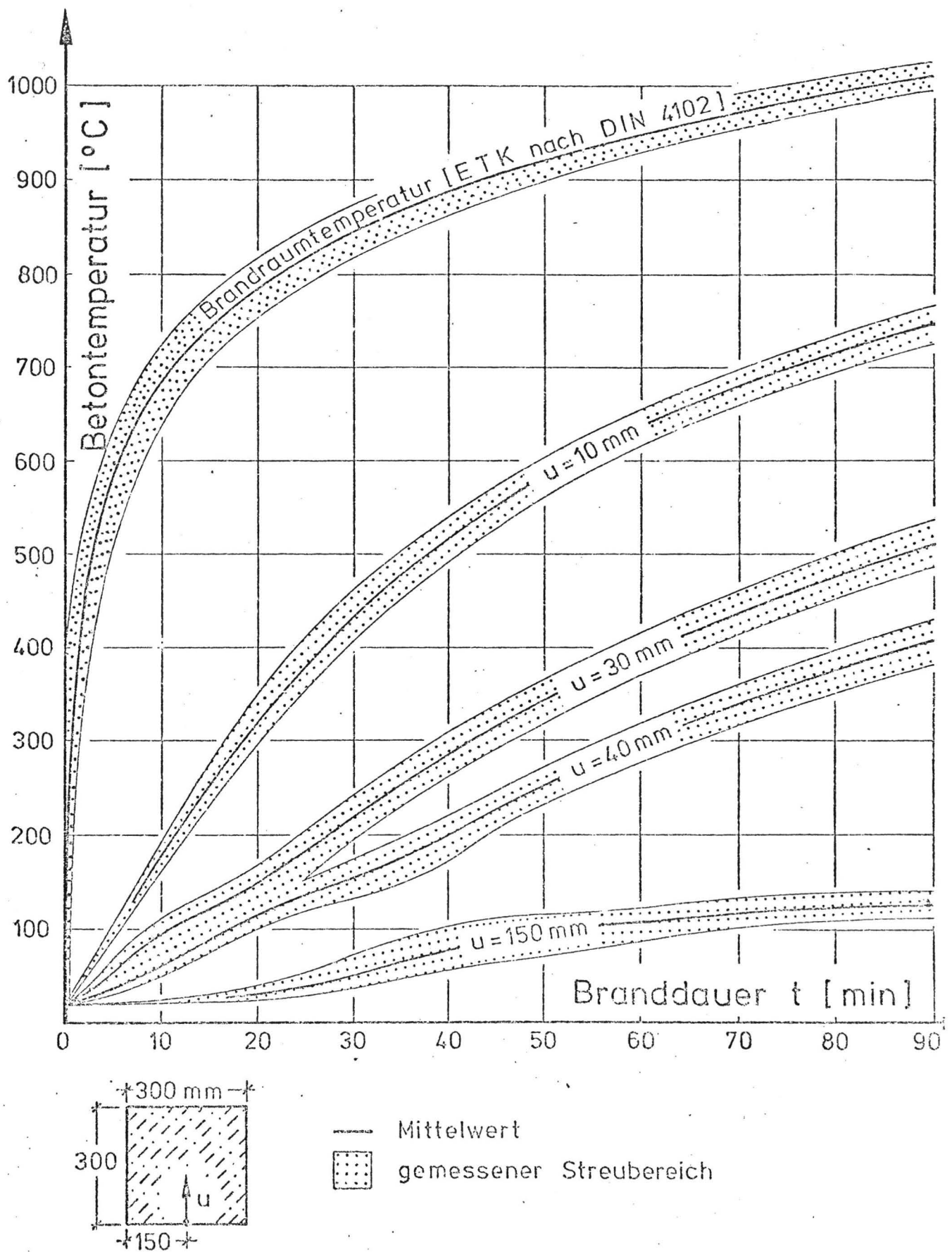


Bild 8: Gemessene Betontemperaturen - Stützenquerschnitt  $300 \times 300 \text{ mm}$

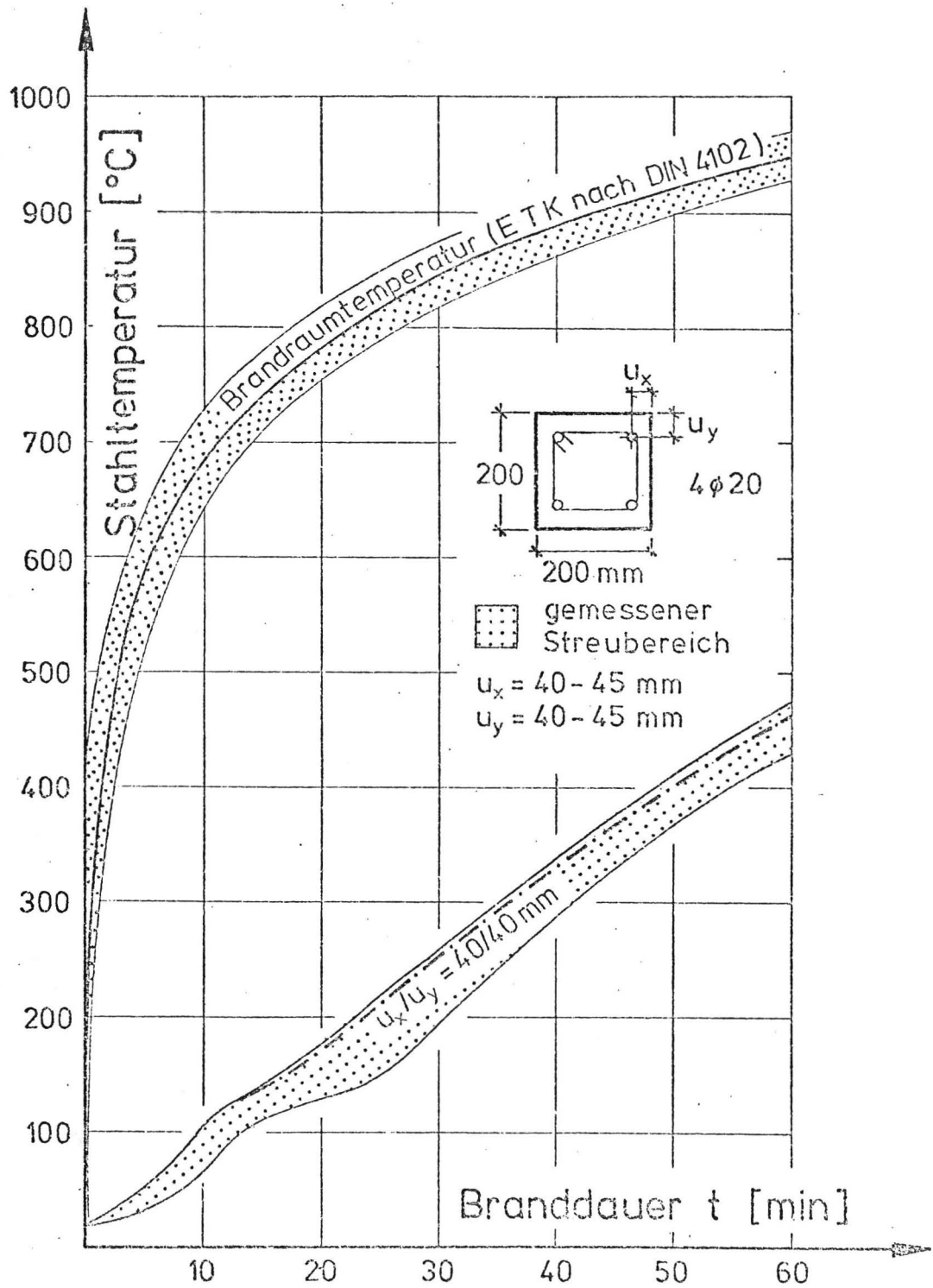


Bild 9: Gemessene Temperaturen an der Längsbewehrung  
- Stützenquerschnitt 200 x 200 mm



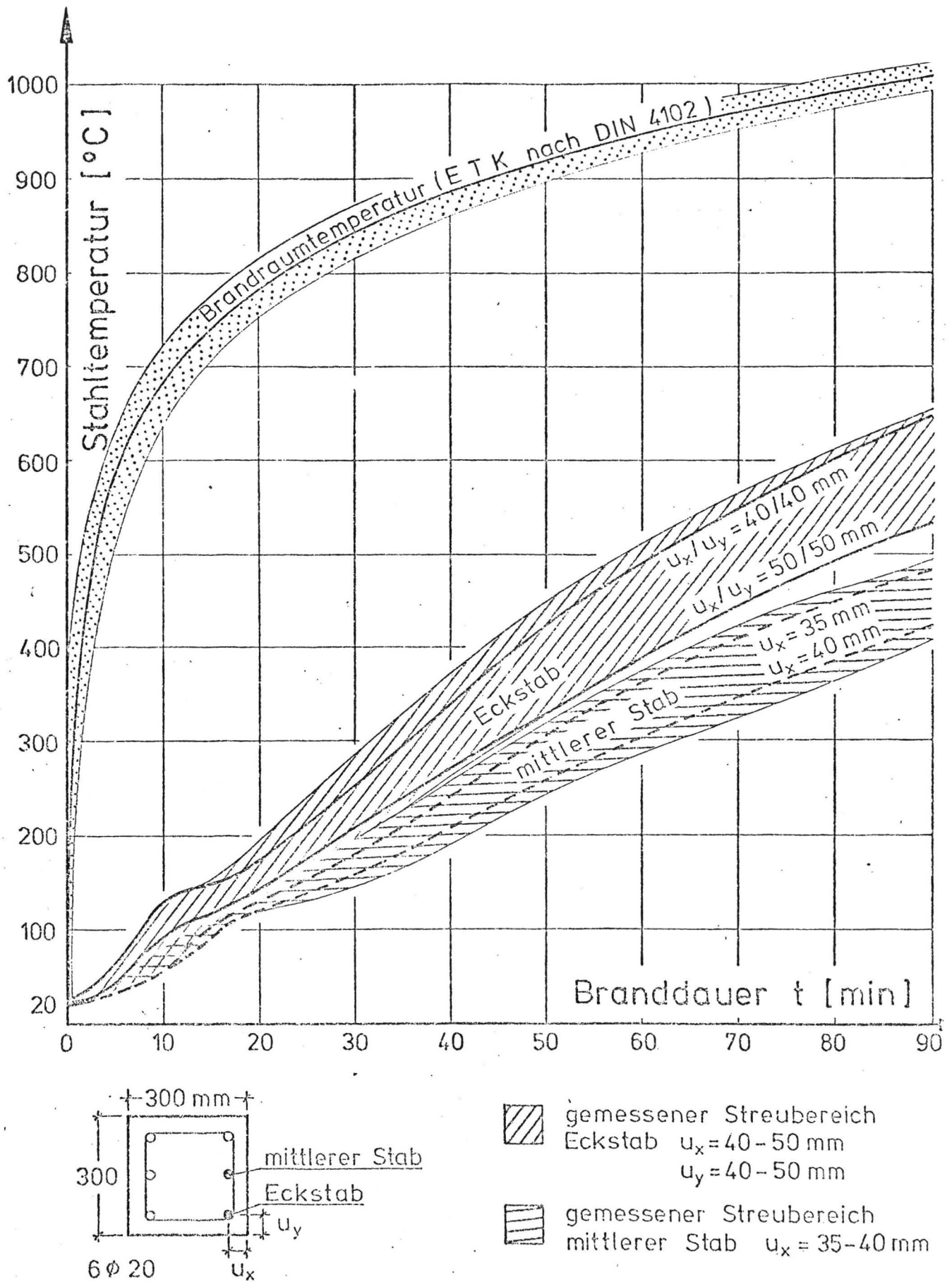
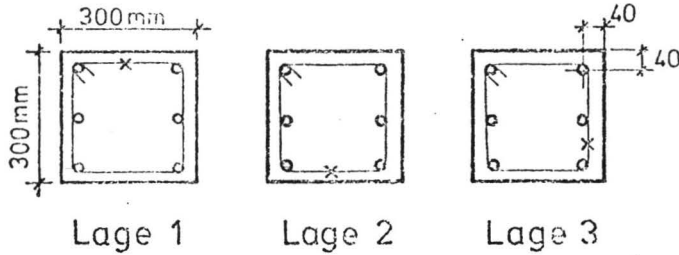


Bild 10: Gemessene Temperaturen an der Längsbewehrung  
- Stützenquerschnitt 300 x 300 mm

# Stahlbetonstützen Serie S 76

## Temperaturmessung am Bügel

allseitige Beflammung nach der E T K (DIN 4102)



Stütze	Lage	z [m]	u <sub>B</sub> [mm]
76-1/1	2	2,54	32
76-1/2	1	2,65	24
76-1/3	2	1,95	32
76-1/4	1	2,70	26
76-3/1	3	2,50	25
76-3/3	3	2,65	26

x : Lage der Meßstelle  
u<sub>B</sub> : Betondeckung [mm] des Bügels an der Meßstelle (Maße bis zur Stabachse)  
z : Höhe der Meßstelle [m] über O.K.F. Brandraum

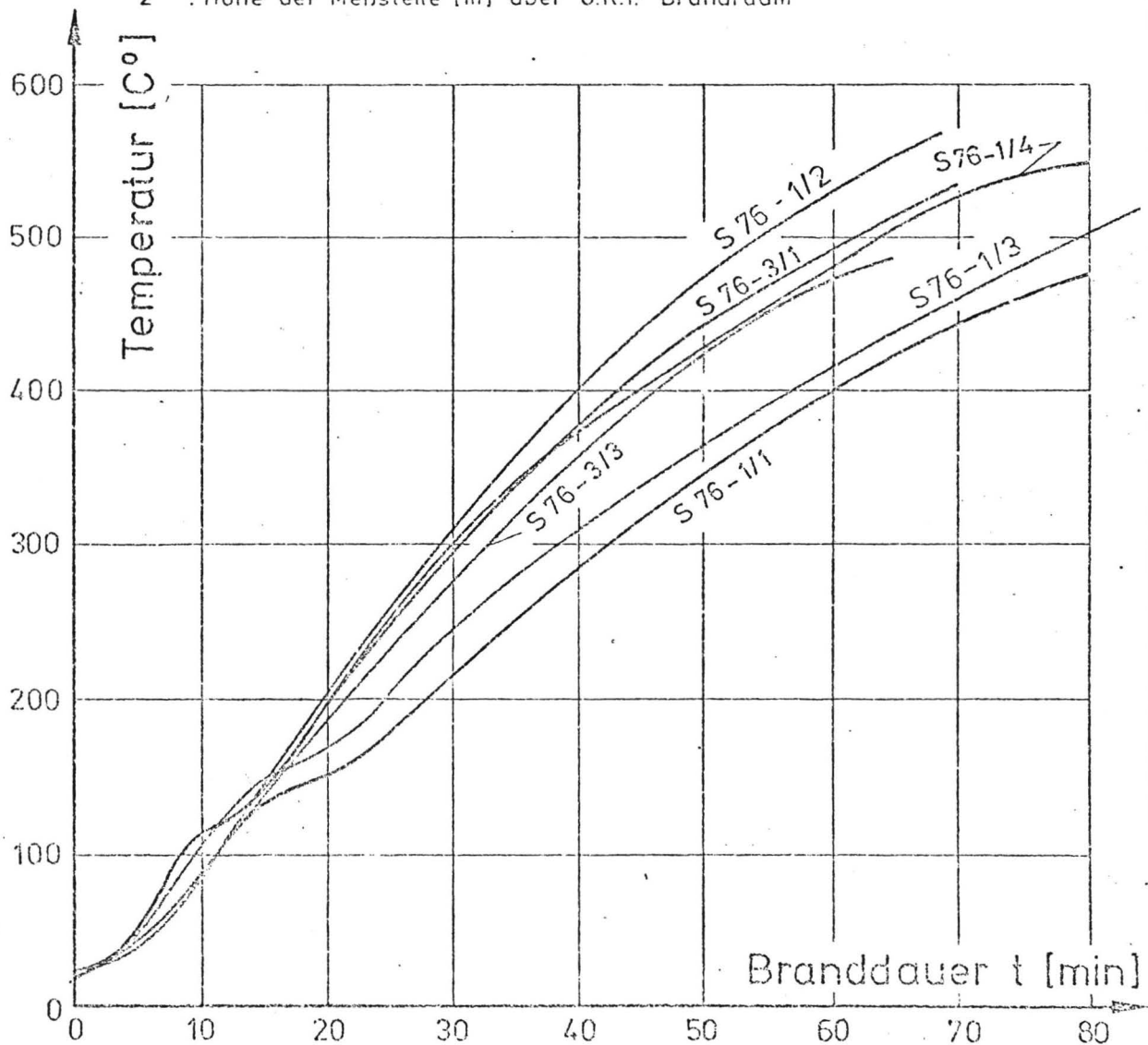


Bild 11: Temperaturmessung an der Bügelbewehrung

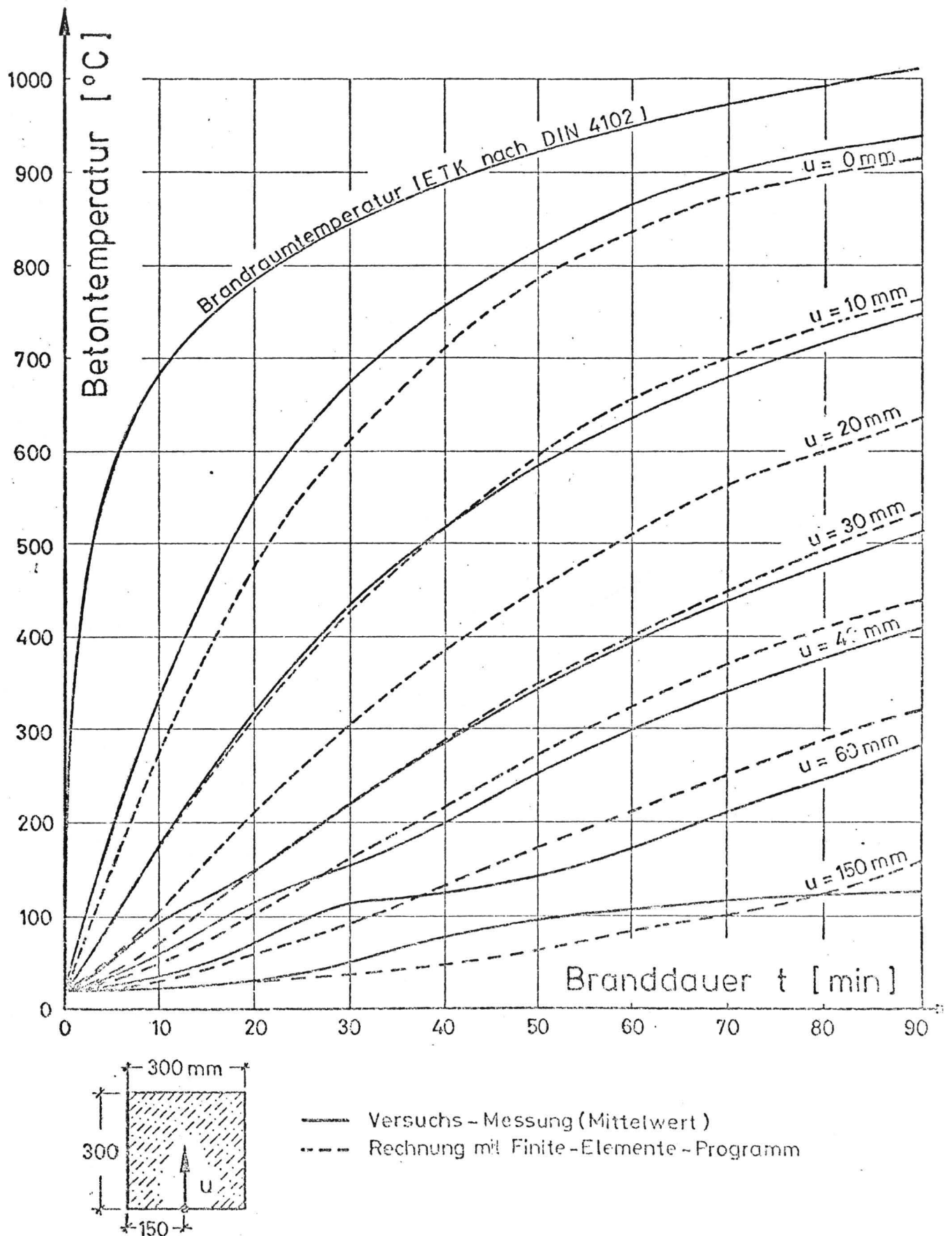


Bild 12: Berechnung des Erwärmungsverhaltens

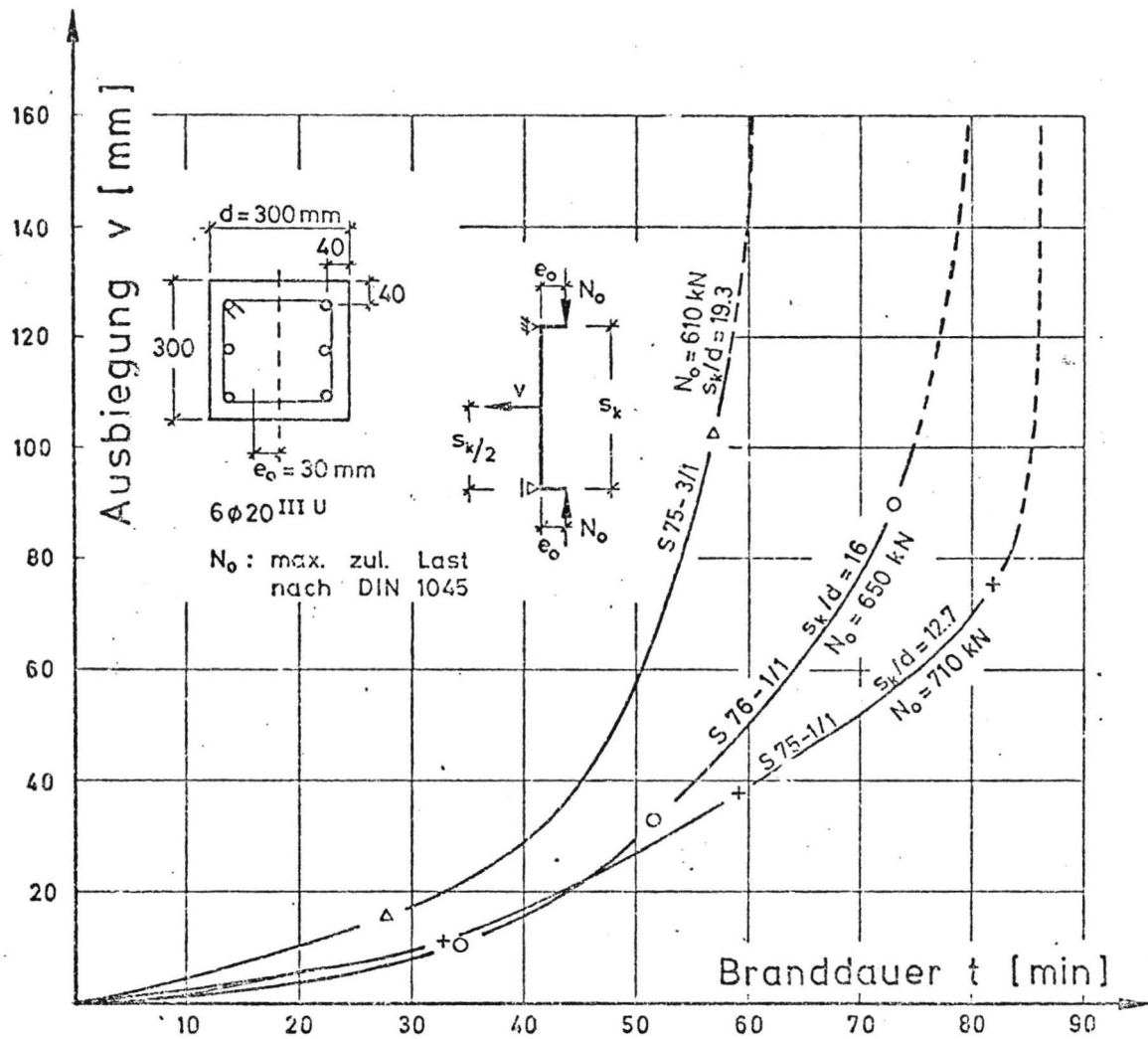
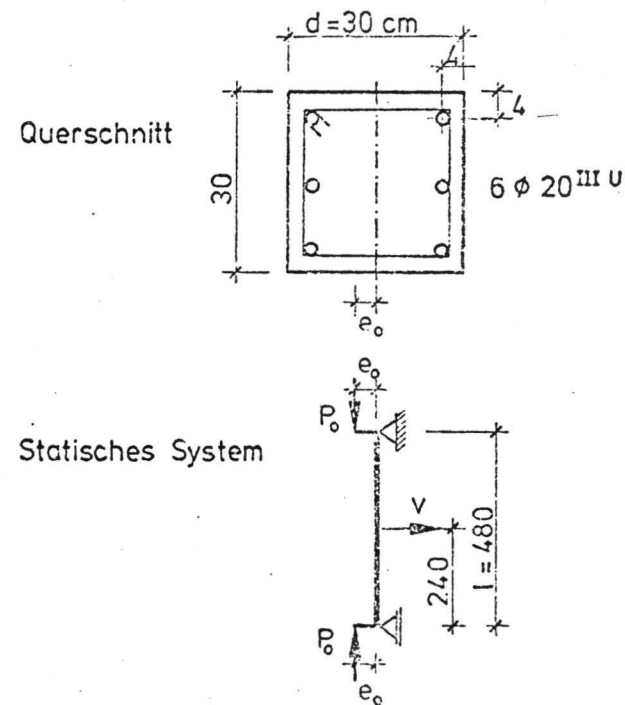
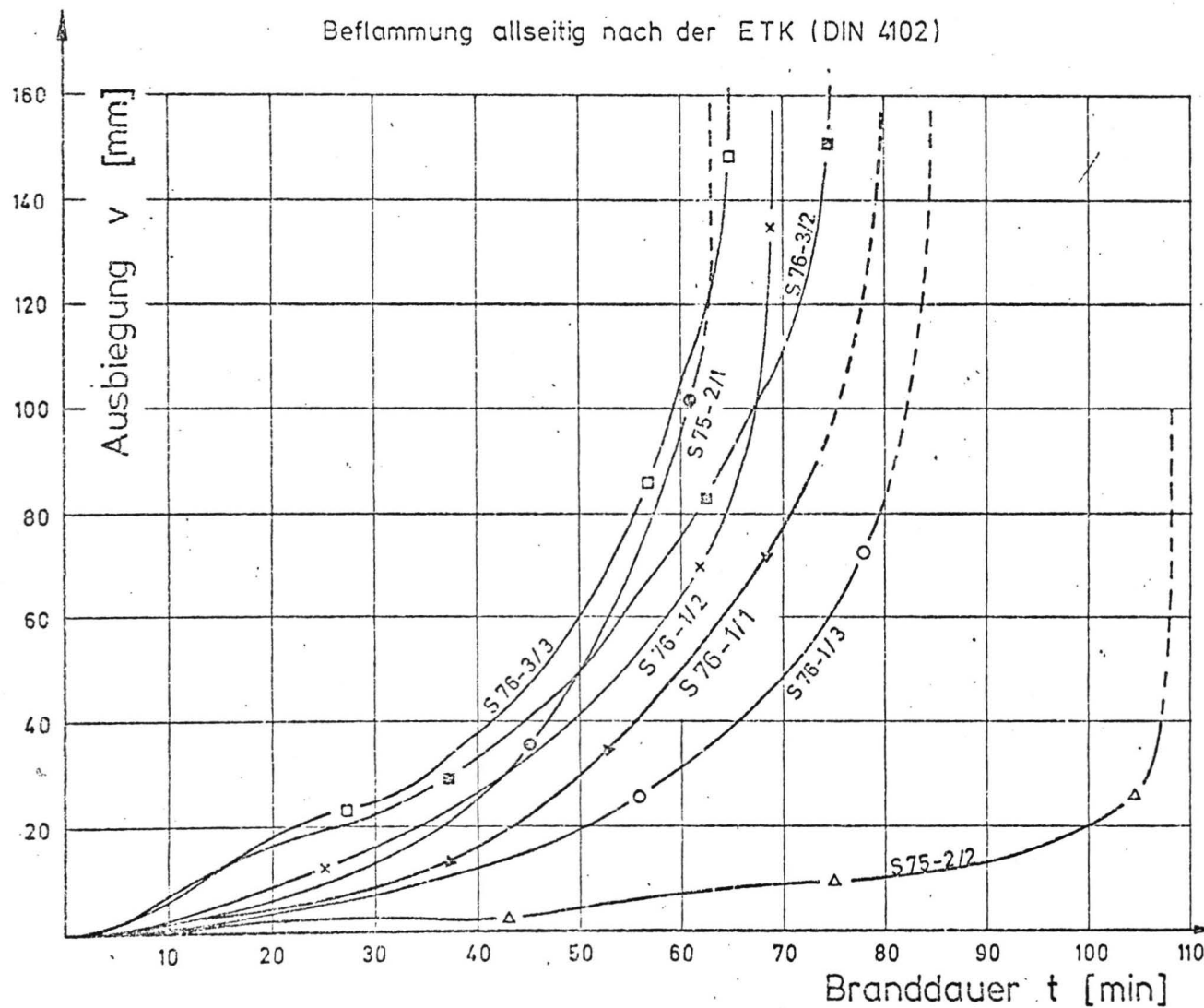


Bild 13: Einfluß der Stützenschlankheit auf die Biegeverformungen  $v$   
(Variation der Schlankheit durch Veränderung der Stützenlänge)

Bild 14: Einfluß der Lastausmitte auf die Biegeverformung v

# Einfluß der planmäßigen Ausmitte $e_0$ auf die Ausbiegung v von Stahlbetonstützen

Beflammung allseitig nach der ETK (DIN 4102)



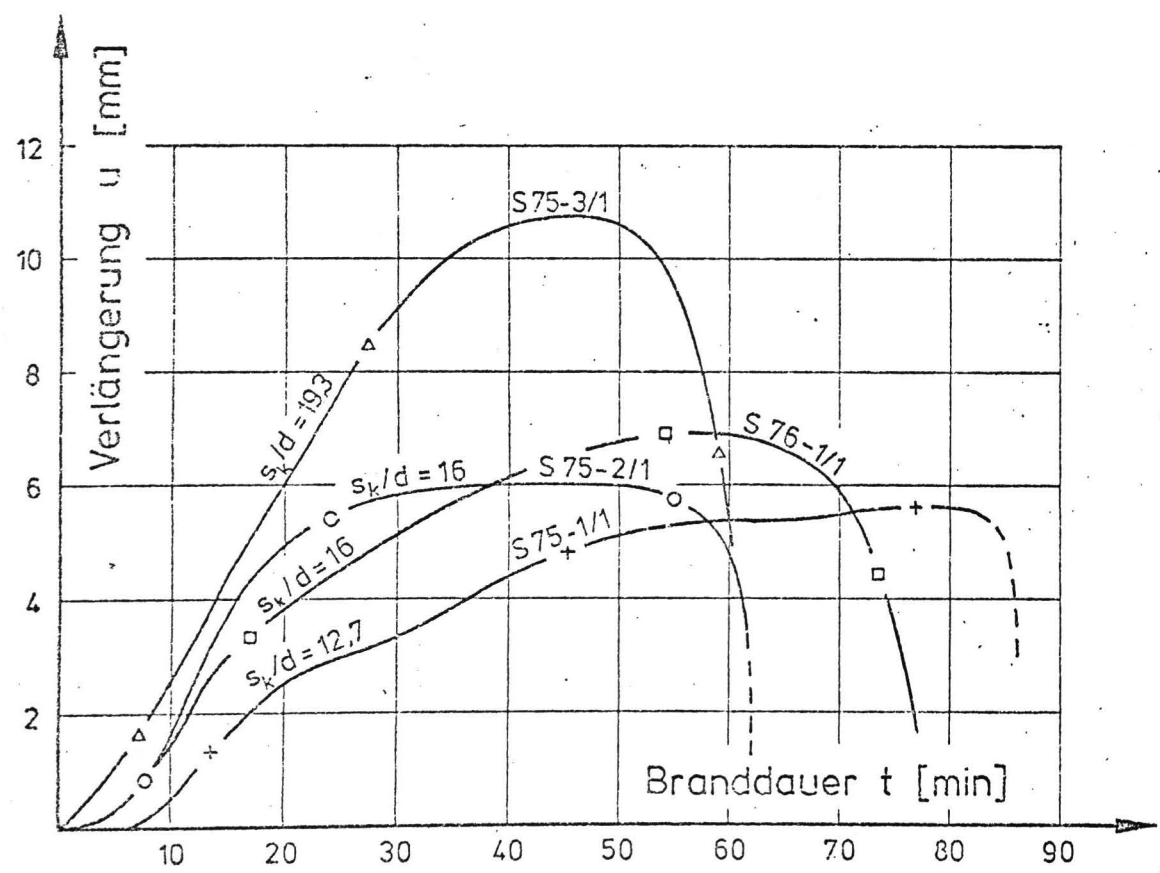
$P_0$  : max. zul. Gebrauchslast nach DIN 1045  
 $e_0$  : planmäßige Ausmitte der Last  $P_0$

Stützen Nr.	l	$e_0$	$P_0$	Bemerkung
	[cm]	[cm]	[kN]	
S75-2/2	480	0	880	keine Abplatzung
S76-1/3	480	1,5	740	keine Abplatzung
S75-2/1	480	3	650	Eckabplatzungen 12. u 14. min.
S76-1/2	480	3	650	Eckabplatzung 23 min.
S76-3/2	480	9	460	Eckabplatzung 17 min.
S76-3/3	480	15	360	Eckabplatzung 16 min.
S76-1/1	480	3	650	keine Abplatzung

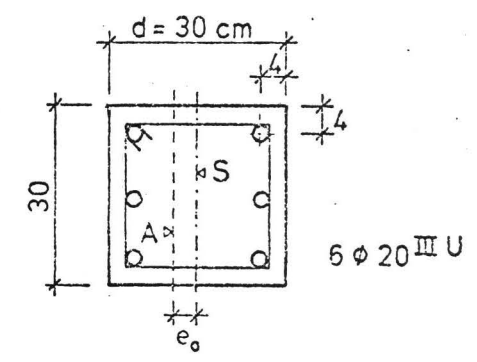
Bild 15: Einfluß der Schlankheit auf die Stützenverlängerung u von Stahlbetonstützen

# Einfluß der Schlankheit auf die Stützenverlängerung u von Stahlbetonstützen

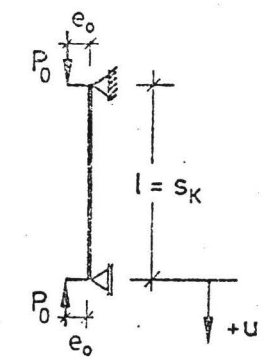
Beflammung allseitig nach der ETK. (DIN 4102)  
u-Messung ausmittig in Ebene A durchgeführt



Querschnitt



Statisches System



$P_o$  : max. zul. Gebrauchslast nach DIN 1045  
 $e_o$  : planmäßige Ausmitte der Last  $P_o$

Stützen Nr.	l	$e_o$	$P_o$	Bemerkung
	[cm]	[cm]	[kN]	
S 75 - 1/1	380	3	710	keine Abplatzung
S 75 - 2/1	480	3	650	Eckabplatzungen 12. u. 14. min.
S 75 - 3/1	580	3	610	keine Abplatzung
S 76 - 1/1	480	3	650	keine Abplatzung

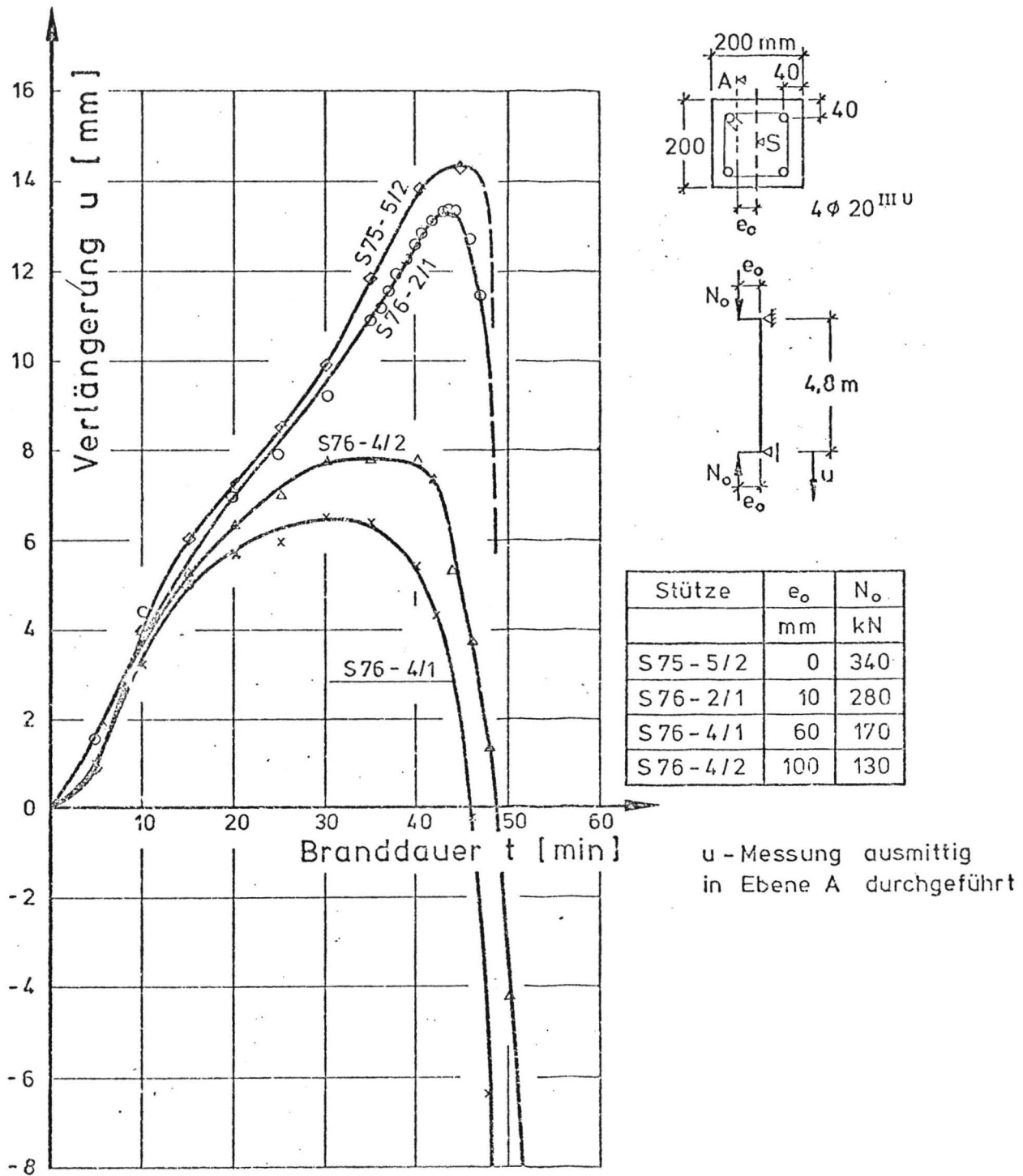


Bild 16: Einfluß der Ausmitte auf die Stützenverlängerung u

# Stahlbetonstützen – Serie S 76

## Messung der Stützenverlängerung $u$

Beflammung: allseitig nach ETK (DIN 4102)

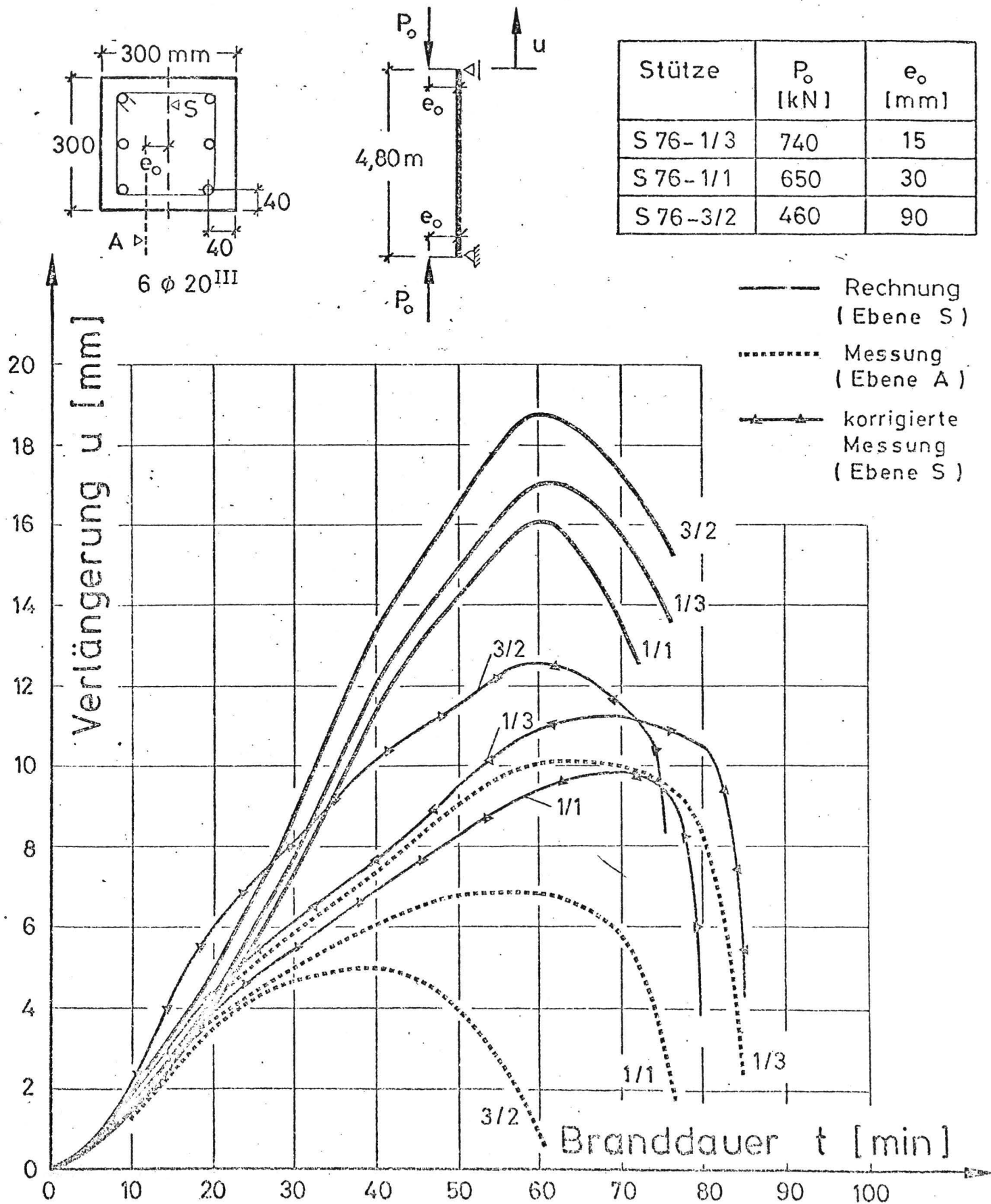


Bild 17: Stützenverlängerung  $u$ , bezogen auf die Querschnittsachse  
(Versuch – Rechnung *Haksever*)



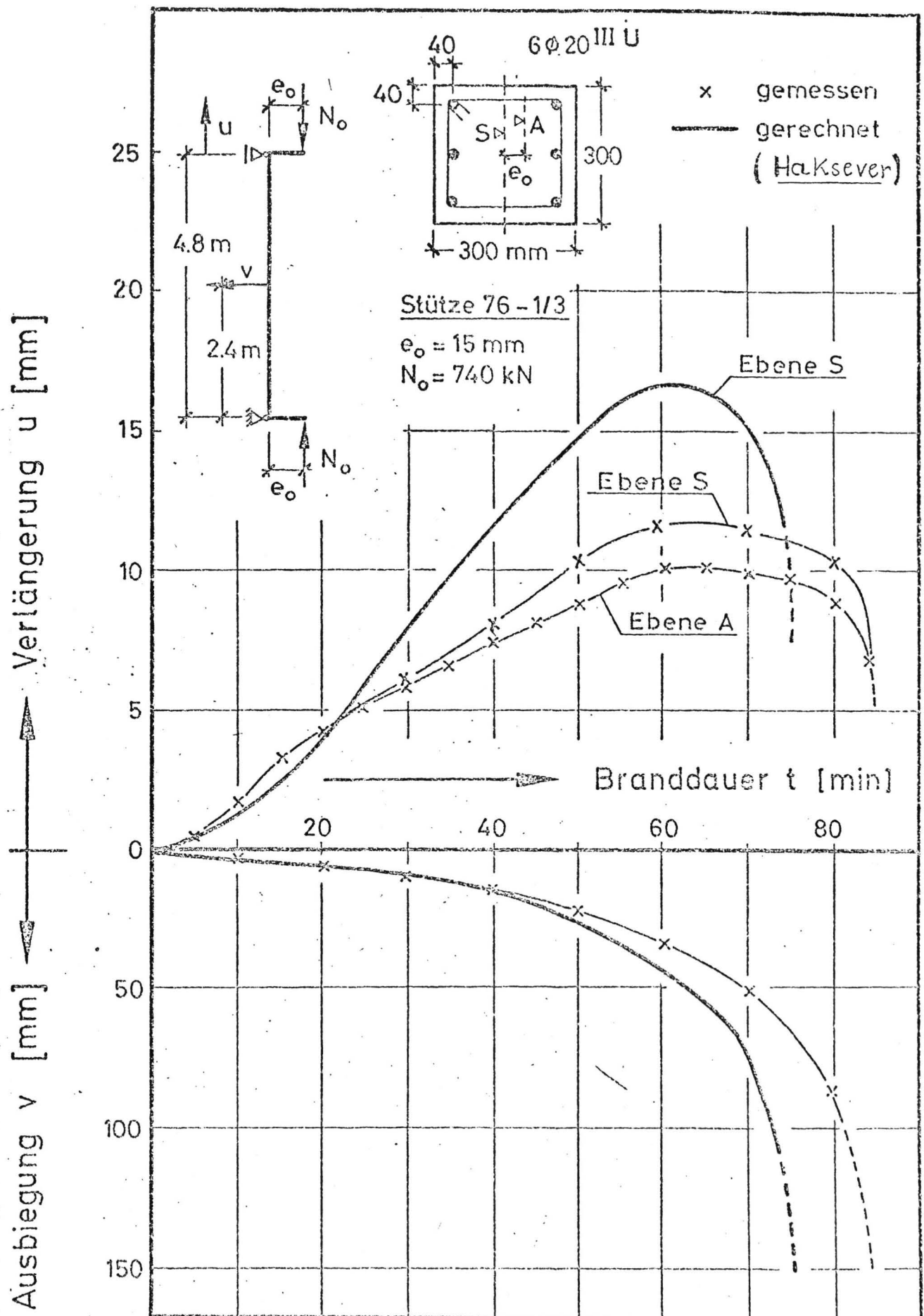


Bild 18: Stützenverformungen (Vergleich: Versuch - Rechnung)

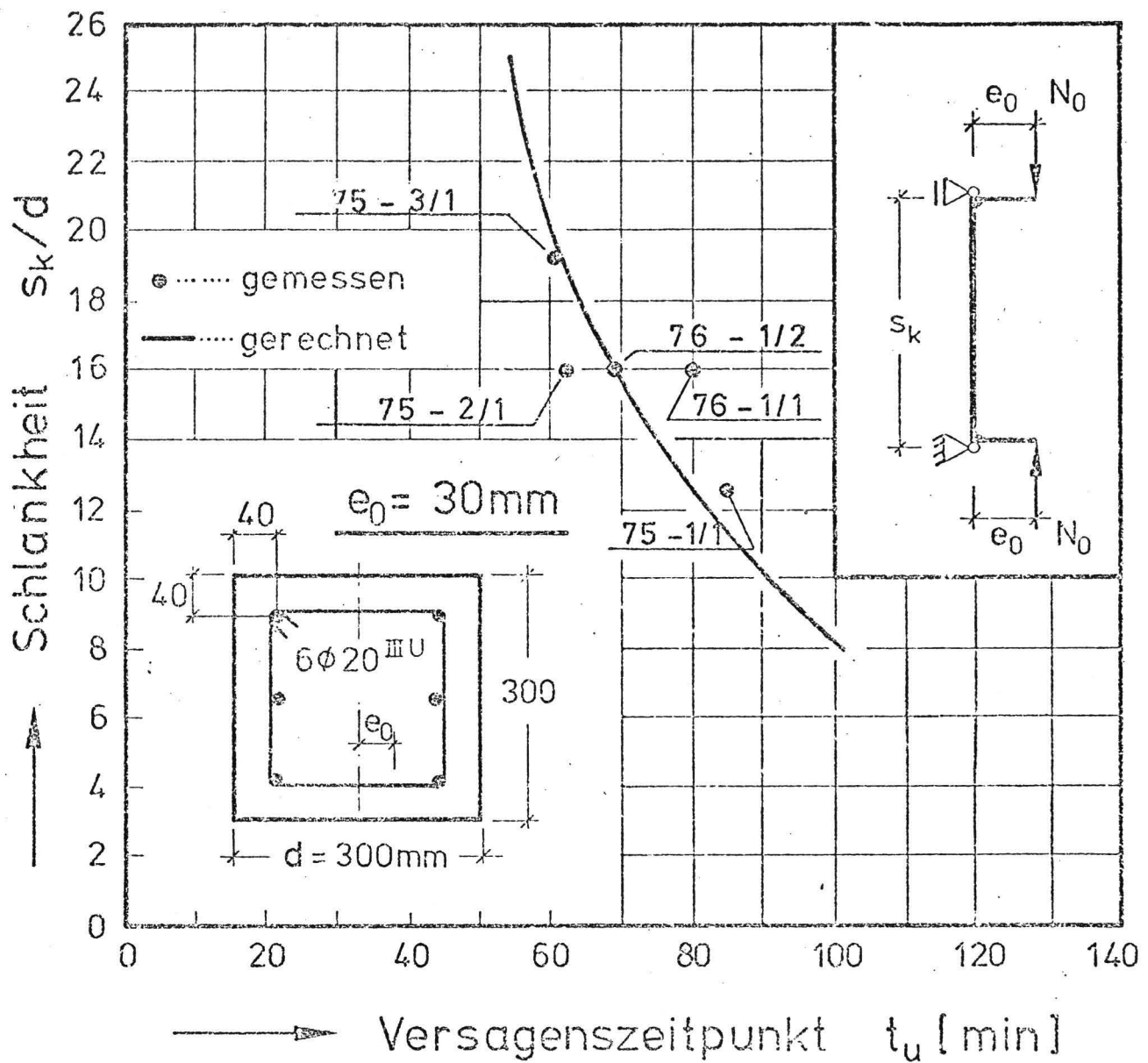


Bild 19: Einfluß der Schlankheit auf die Feuerwiderstandsdauer

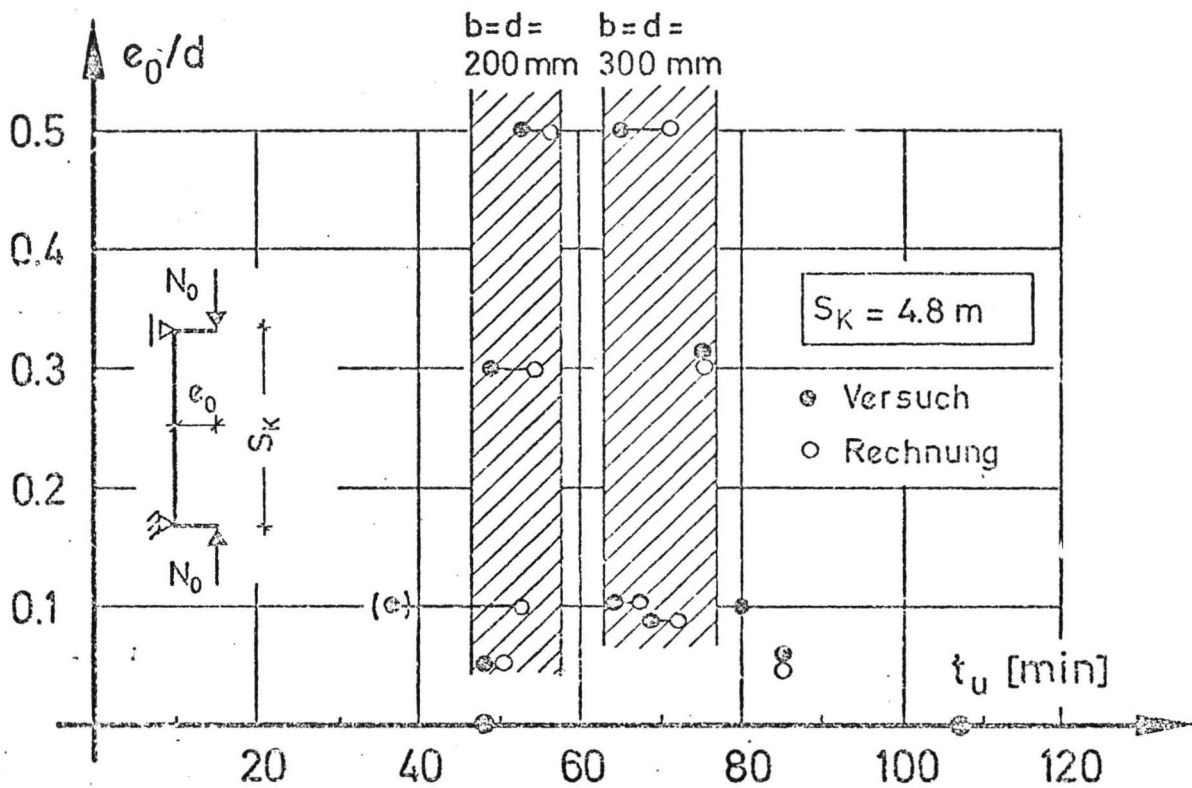


Bild 20: Einfluß der Lastausmitte auf die Feuerwiderstandsdauer

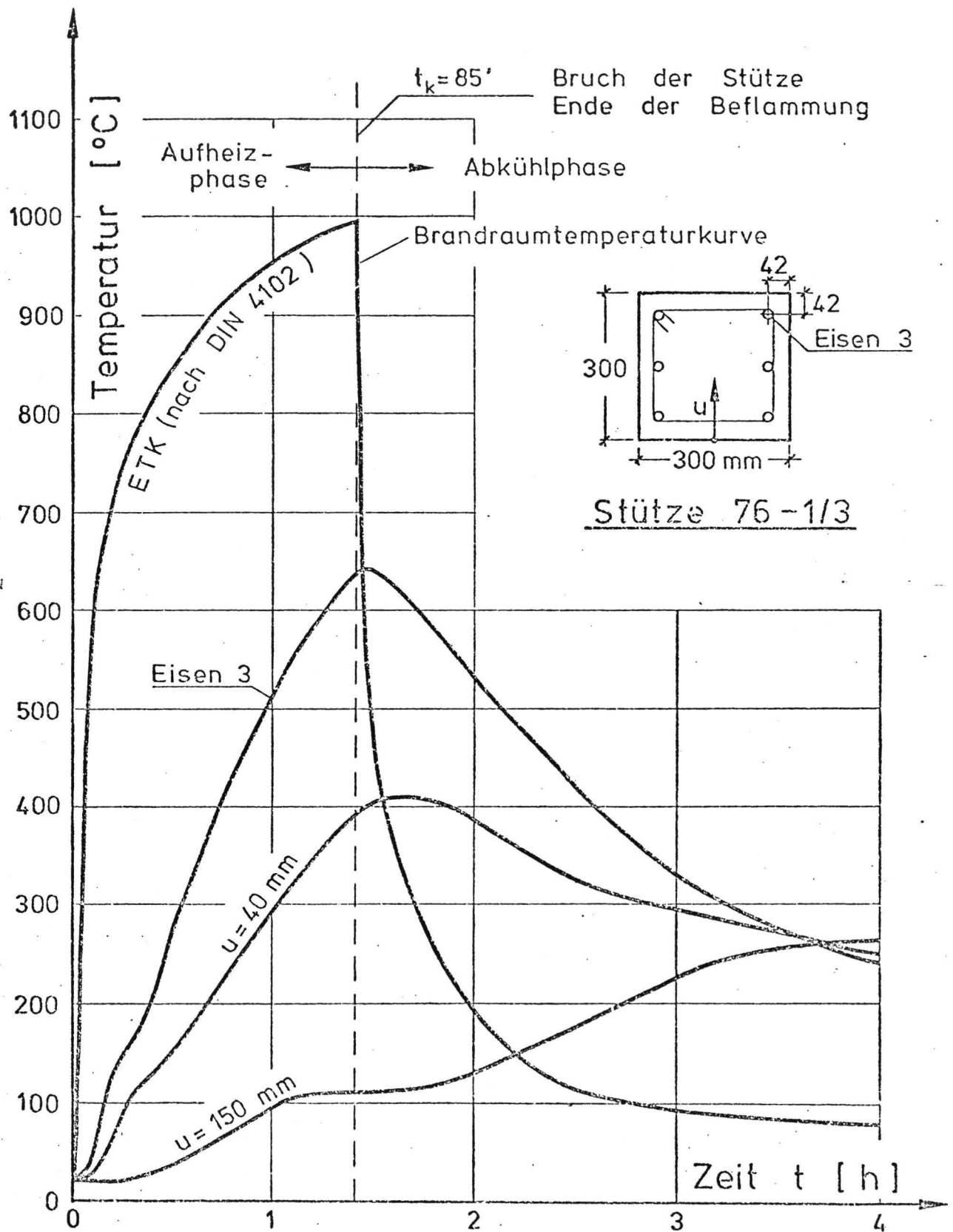


Bild 21: Aufheiz- und Abkühlphase bei einem Normbrandversuch

13. Feb. 2006  
30-0505/1001

Herrn Prof. Vordrath !

La  
P. Walter

13. Anhang zu

Brandversuche an Stahlbetonstützen  
ohne Längsdehnungsbehinderung

Bericht aus dem Sonderforschungsbereich 148  
der Technischen Universität Braunschweig

Braunschweig, im Dezember 1977

Inhaltsverzeichnis

- 13.1. Bruchbilder der Stützen
- 13.2. Bewehrungspläne der Versuchskörper
- 13.3. Temperaturmeßergebnisse
  - 13.3.1. Brandraumtemperaturen
  - 13.3.2. Bauteiltemperaturen
- 13.4. Verformungsmeßergebnisse

### 13.1. Bruchbilder der Stützen

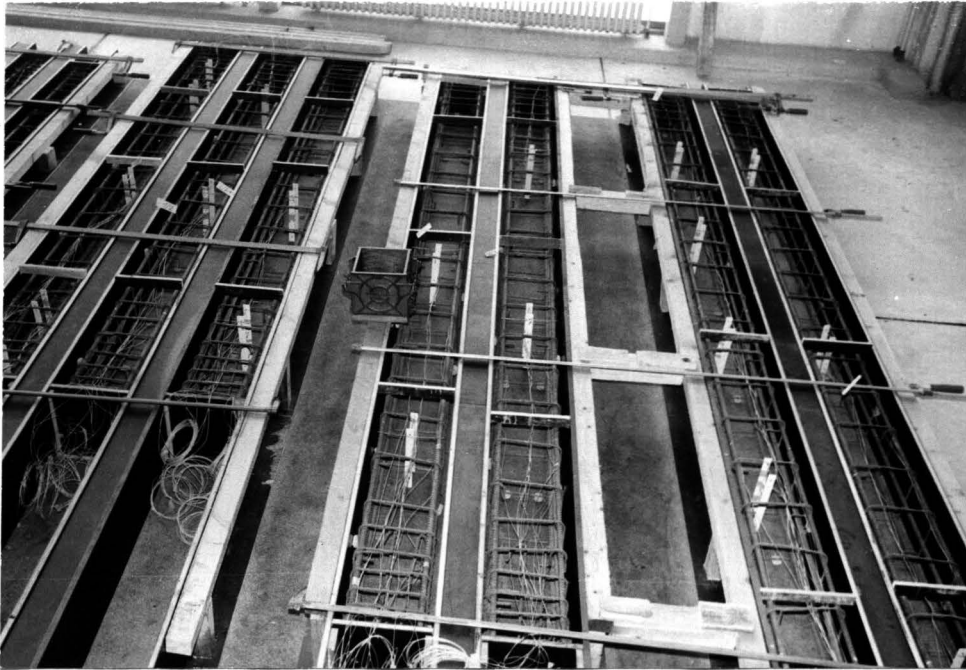


Bild 1:

Stützenserie S 75  
vor dem Betonieren



Bild 2:

Eingebaute Meßleiter zur  
Messung von Betontempe-  
raturen



Bild 3:

An der Längsbewehrung an-  
gebundene Thermolemente





Bild 4



Bild 5

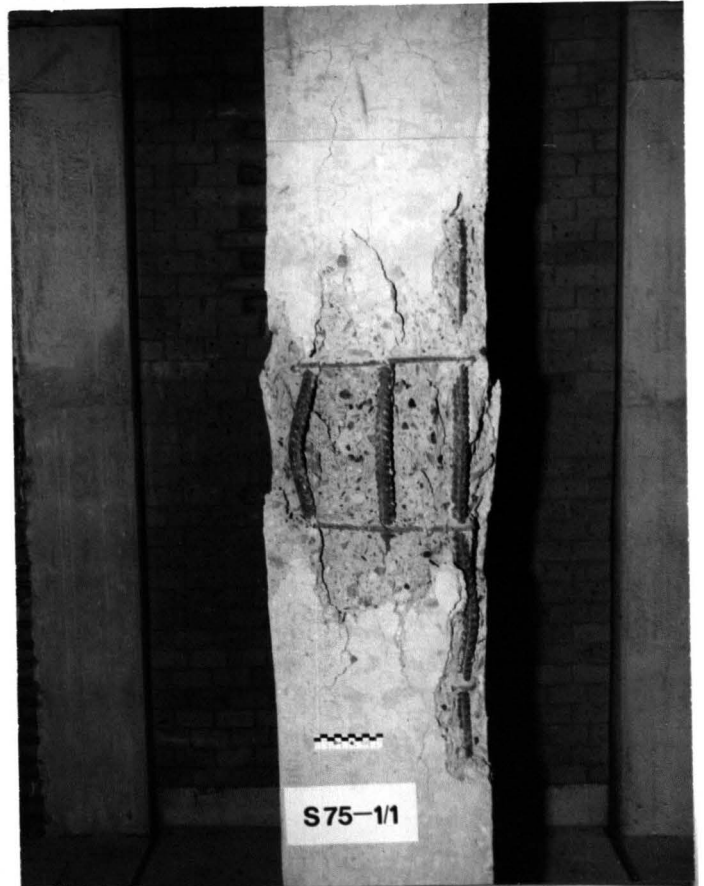


Bild 6

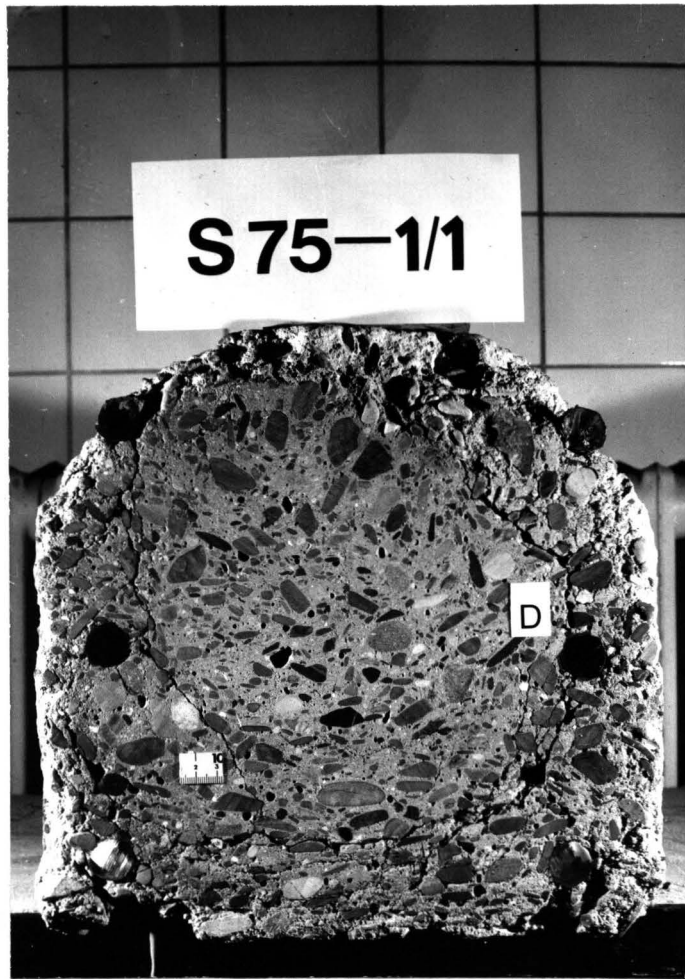


Bild 7

Bilder 4 bis 7: Stütze 75-1/1 nach dem Brandversuch



Bilder 8 und 9: Bruchbereich der Stütze 75-1/1 nach dem Brandversuch



Zugrand

Druckrand

Bild 10: Schnitt durch die Stütze 75-1/1 nach dem Brandversuch  
(Feuerwiderstandsdauer: 86 min)

Lage des Schnittes:       $Z = 2,40$  m über O.K.-Brandraumfußboden



Bild 11



Bild 12

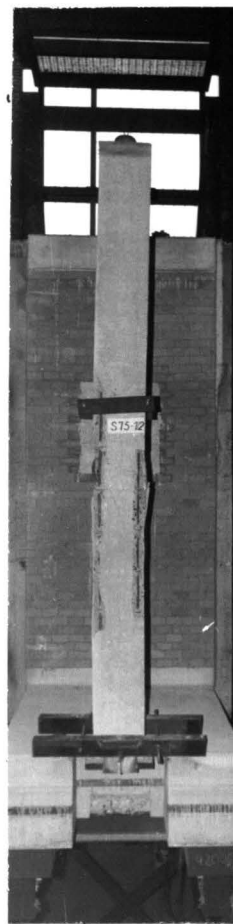


Bild 13



Bild 14

Bild 11 - 14: Stütze 75-1/2 nach dem Brandversuch



Bild 15



Bild 16

Bild 15 und 16: Bruchbereich der Stütze 75-1/2 nach dem Brandversuch  
(Bügel im Bereich der Abplatzung gebrochen)



Bild 17



Bild 18



Bild 19



Bild 20

Bild 17 - 20 : Stütze 75-1/3 nach dem Brandversuch



Bild 21

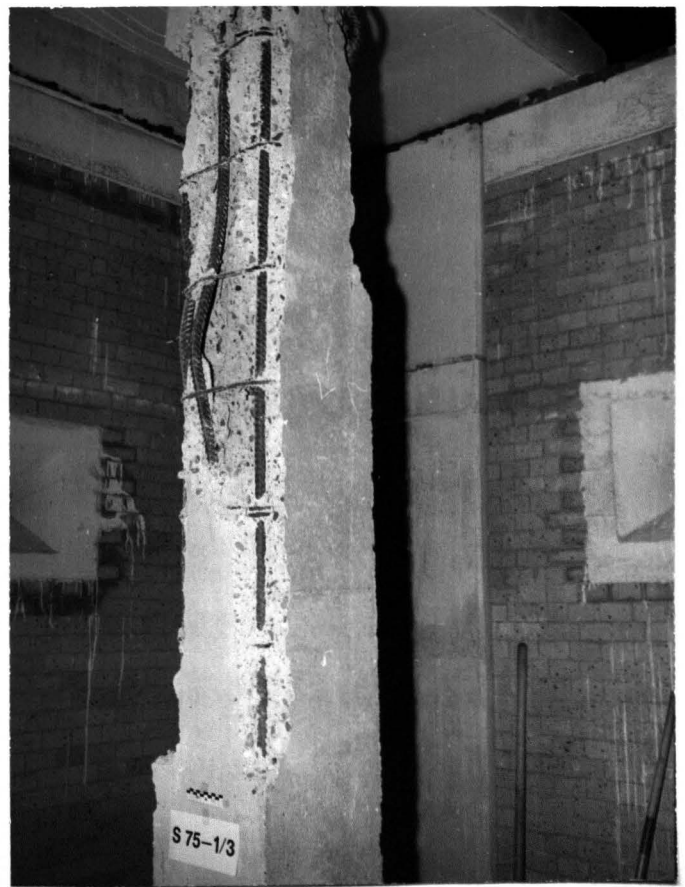


Bild 22

Bilder 21 und 22 : Bruchbereich der Stütze 75-1/3 nach dem Brandversuch



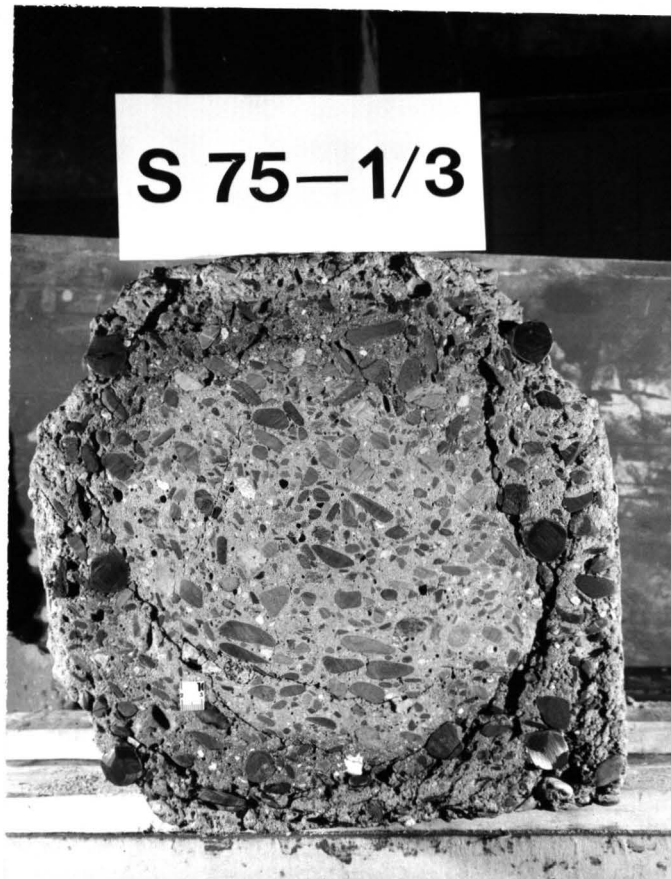


Bild 23 : Schnitt durch die Stütze 75-1/3 nach dem Brandversuch  
(Feuerwiderstandsdauer: 138 min)

Lage des Schnittes: Z = 1,10m über O.K.-Brandraumfußboden

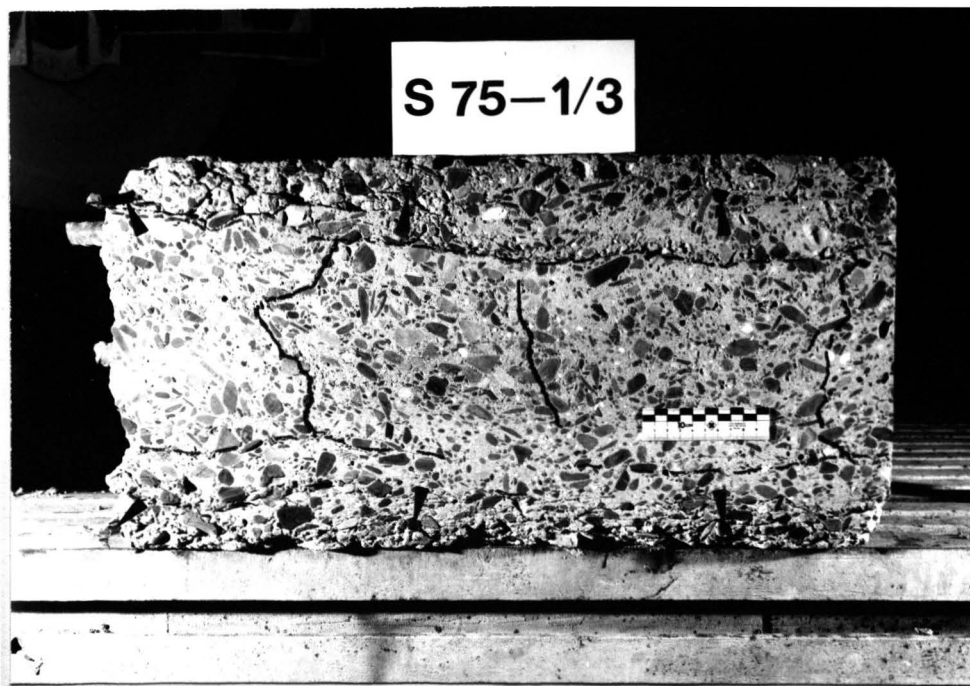


Bild 23a: Längsschnitt durch die Stütze nach dem Brandversuch  
(zerstörte Randbereiche/ Querrisse im Kern)

! : Bügel

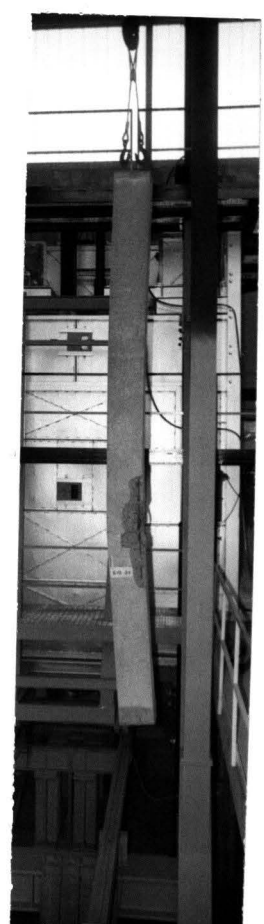
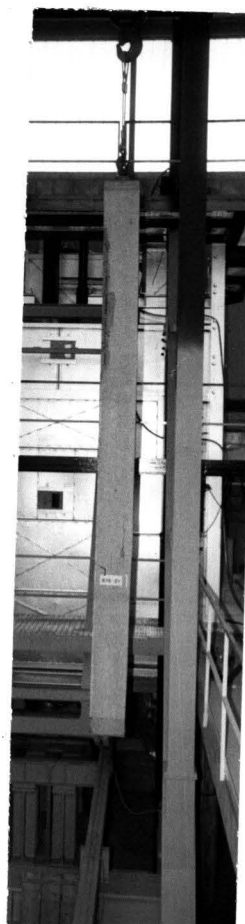
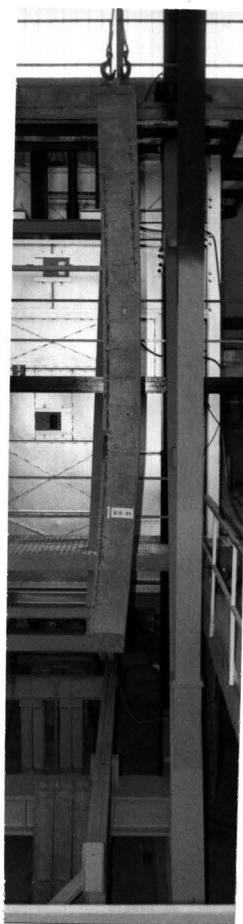
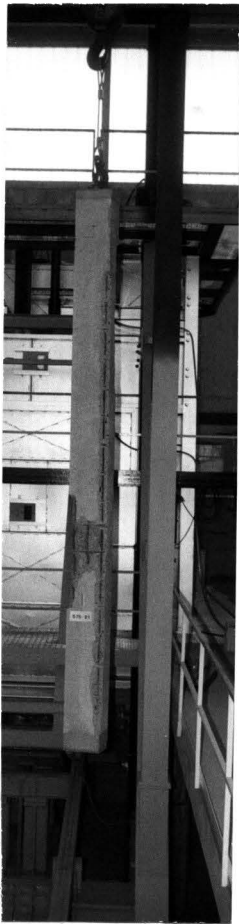


Bild 24

Bild 25

Bild 26

Bild 27

Bilder 24 - 27: Stütze 75-2/1 nach dem Brandversuch



Bild 28

Bild 29

Bilder 28 und 29: Bruchbereich der Stütze 75-2/1 nach dem Brandversuch



Bild 30

Bild 31

Bild 32

Bild 33

Bilder 30 - 33: Stütze 75-2/2 nach dem Brandversuch



Bild 34

Bild 35

Bilder 34 und 35: Bruchbereich der Stütze 75-2/2 nach dem Brandversuch



Bild 36: Schnitt durch die Stütze 75-2/2 nach dem Brandversuch  
(Feuerwiderstandsdauer: 108 min)

Lage des Schnittes:  $Z = 1,90$  m über O.K. Brandraumfußboden



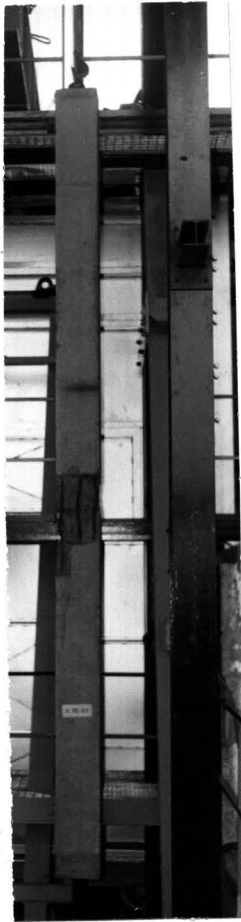


Bild 37

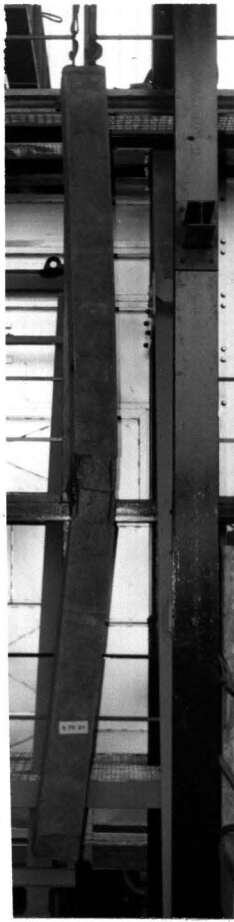


Bild 38

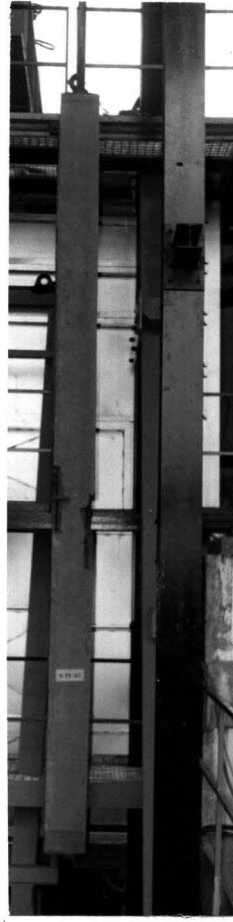


Bild 39

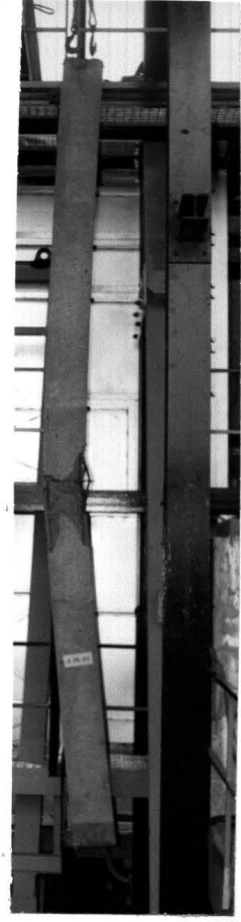


Bild 40

Bilder 37 -40: Stütze 75-3/1 nach dem Brandversuch



Bild 41

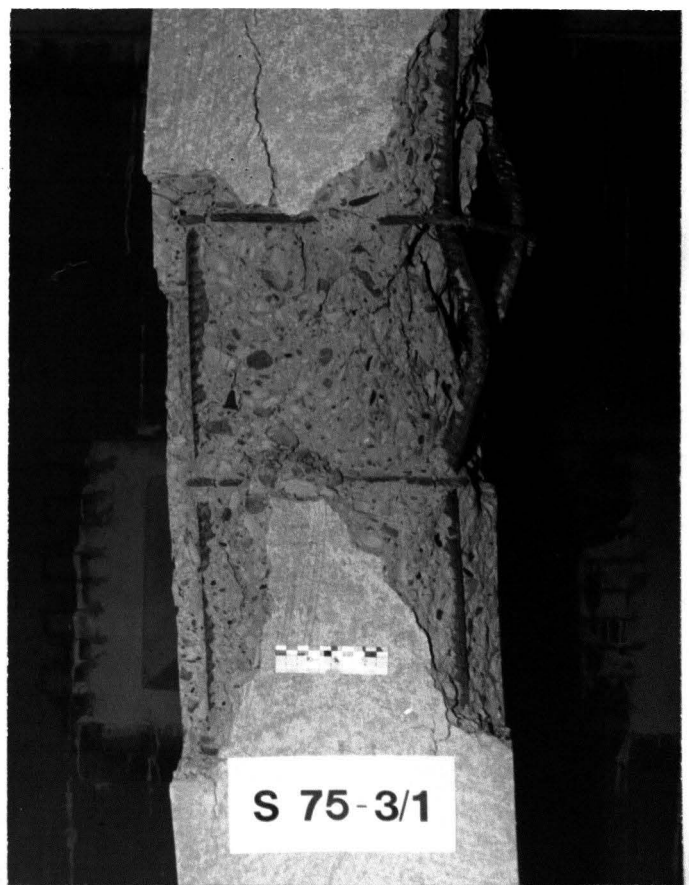


Bild 42

Bild 41 und 42: Bruchbereich der Stütze 75-3/1 nach dem Brandversuch  
(Bügel gebrochen)

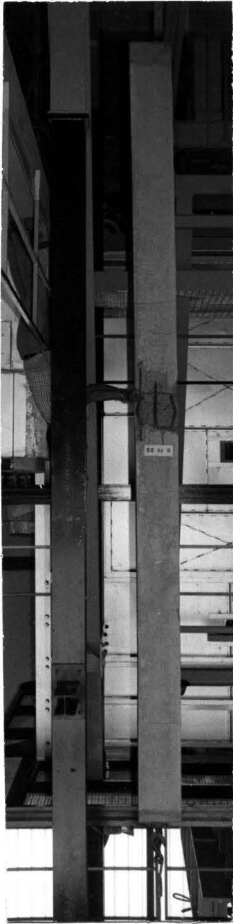


Bild 43

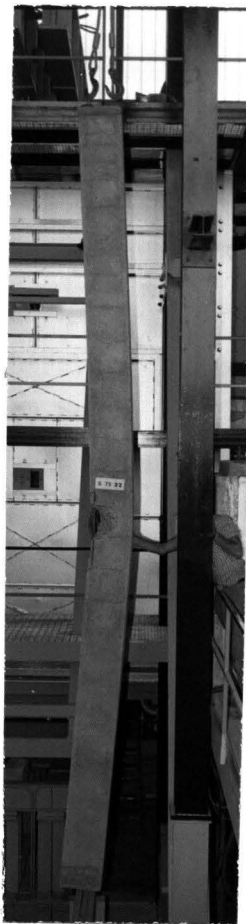


Bild 44



Bild 45

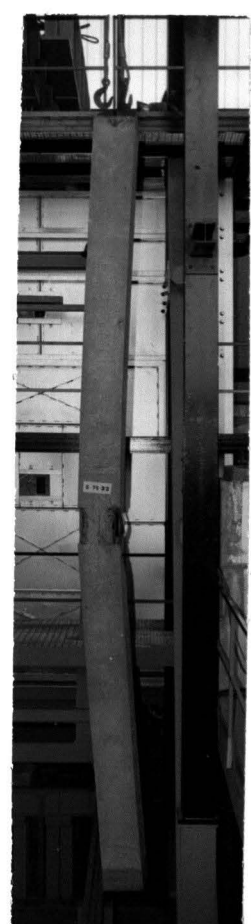


Bild 46

Bilder 43 - 46: Stütze 75-3/2 nach dem Brandversuch



Bild 47



Bild 48

Bild 47 und 48: Bruchbereich der Stütze 75-3/2 nach dem Brandversuch



Bild 49: Stütze 75-4/1 nach dem Brandversuch



Bild 50



Bild 51

Bilder 50 und 51: Bruchbereich der Stütze 75-4/1 nach dem Brandversuch

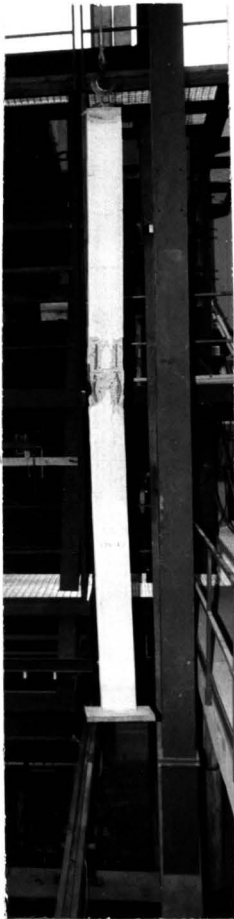


Bild 52



Bild 53



Bild 54



Bild 55

Bilder 52 - 55: Stütze 75-4/2 nach dem Brandversuch

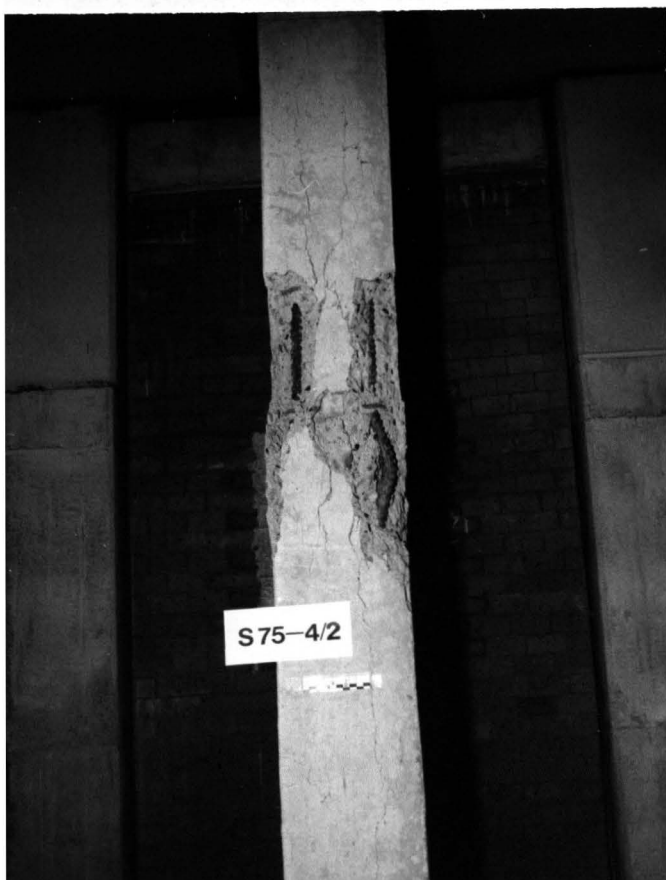


Bild 56:

Bruchbereich der Stütze 75-4/2  
nach dem Brandversuch



Bild 57:

Horizontallrisse im Bereich der Bügel  
(unteres Stützenende/Stütze 75-4/2)





Bild 58

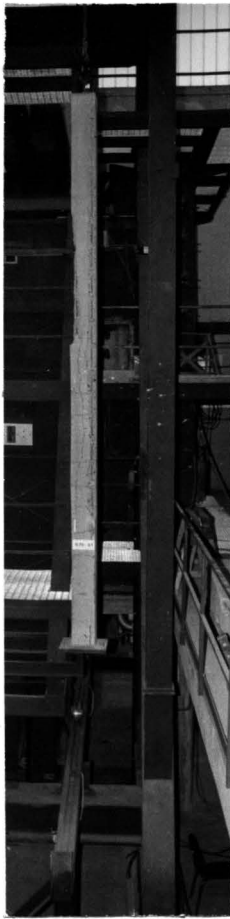


Bild 59



Bild 60



Bild 61

Bilder 58 - 61: Stütze 75-5/1 nach dem Brandversuch (Versuchsabbruch in der 15. Minute nach starken Abplatzungen)



Bild 62



Bild 63

Bilder 62 und 63: Abplatzbereiche der Stütze 75-5/1

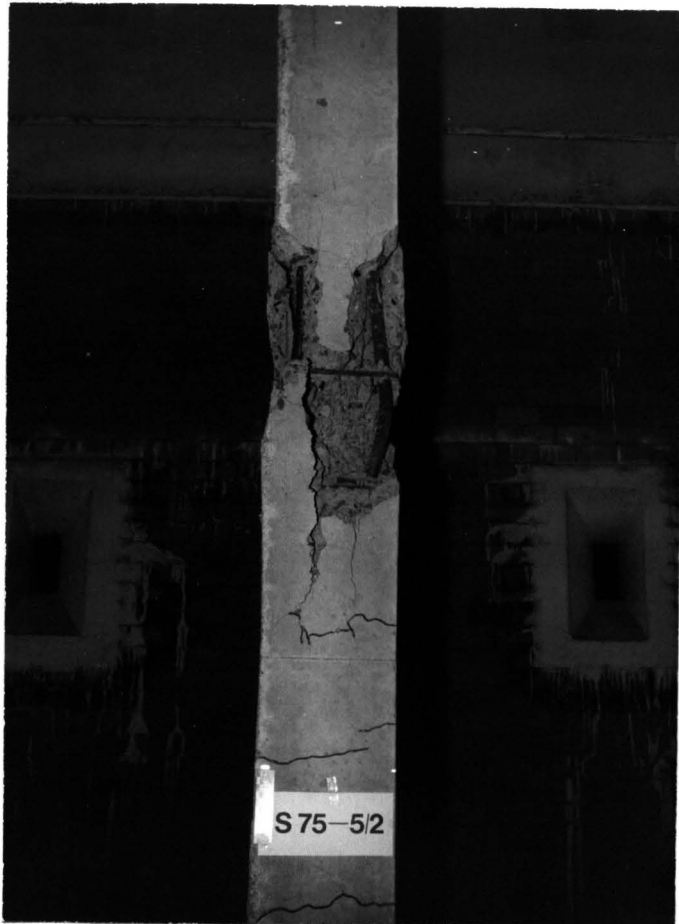


Bild 64 (Druckseite)



Bild 65 (Zugseite)

Bilder 64 und 65: Bruchbereich der Stütze 75-5/2 nach dem Brandversuch

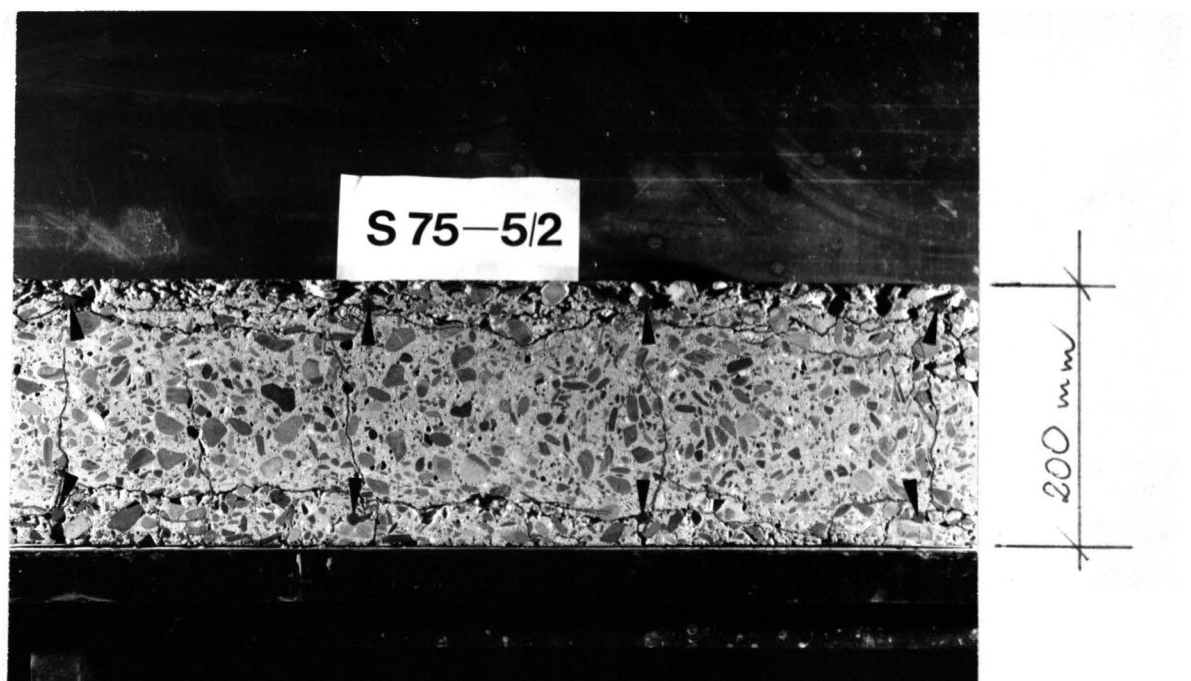


Bild 65a: Längsschnitt durch die Stütze nach dem Brandversuch  
(zerstörte Randbereiche/ Querrisse im Kern)

! :Bügel



Bild 66

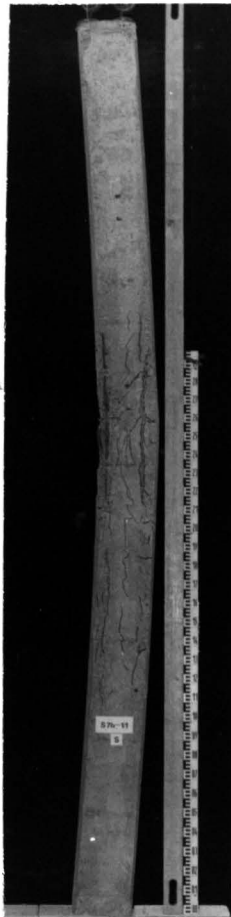


Bild 67

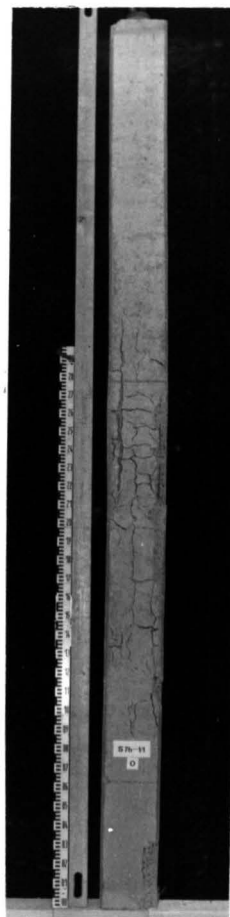


Bild 68

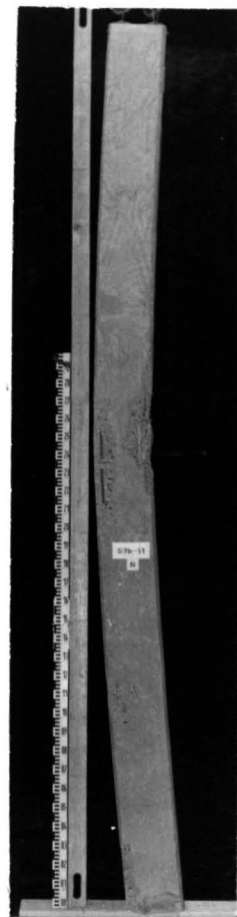


Bild 69

Bilder 66 - 69: Stütze 76-1/1 nach dem Brandversuch



Bild 70 (Druckzone)

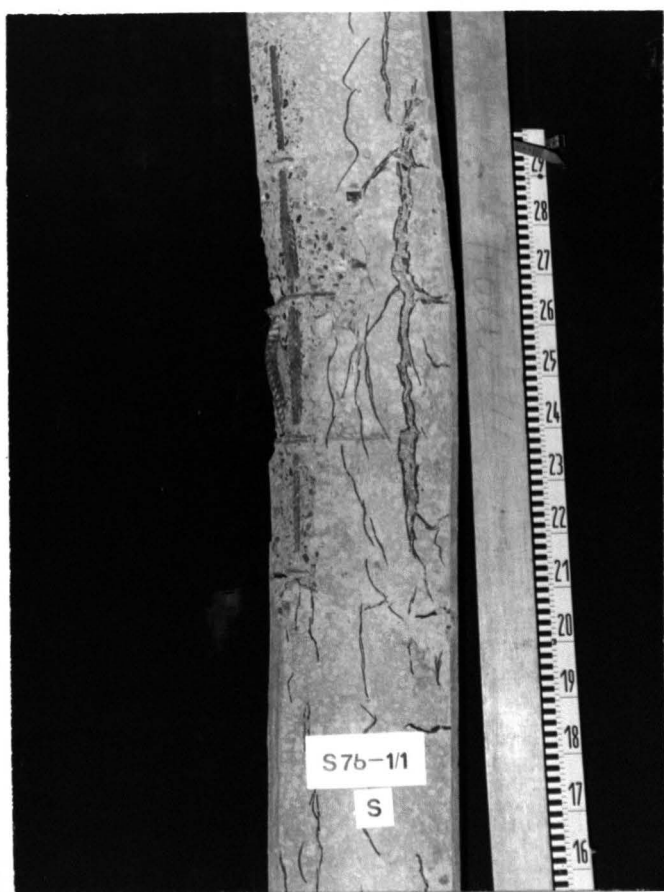


Bild 71

Bilder 70 und 71: Bruchbereich der Stütze 76-1/1 nach dem Brandversuch; Eckeisen und mittleres Eisen in der Druckzone gebrochen (ein Teil des Eckeisens herausgefallen)



Bild 72



Bild 73

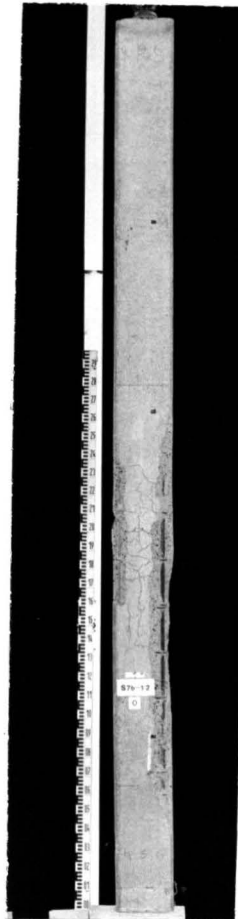


Bild 74

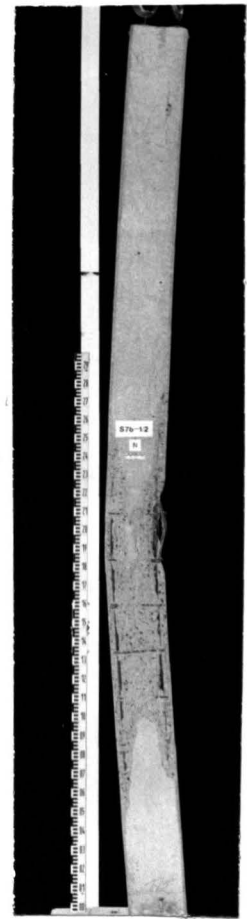


Bild 75

Bilder 72 - 75: Stütze 76-1/2 nach dem Brandversuch

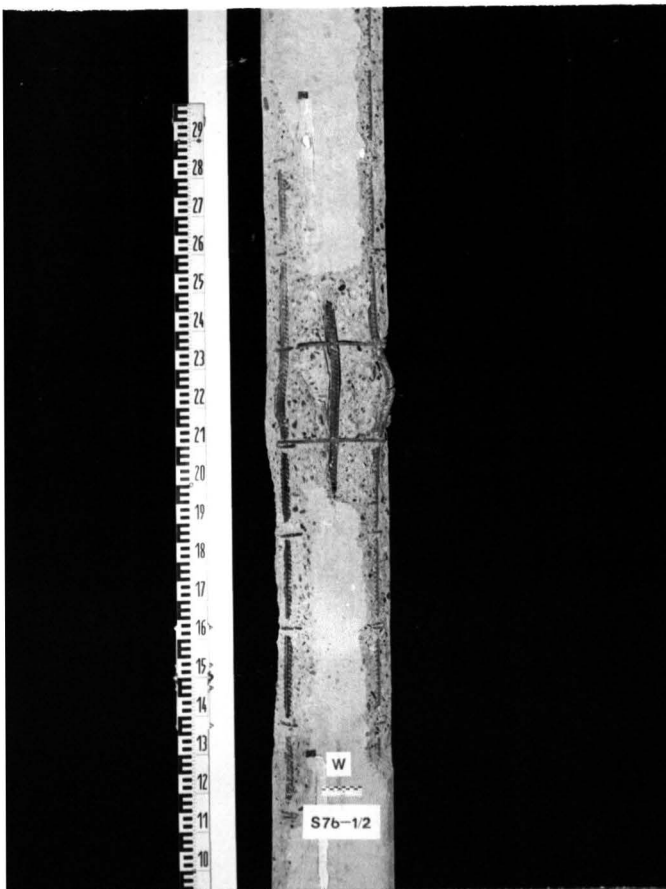


Bild 76 Bügel im Abplatzbereich  
gebrochen

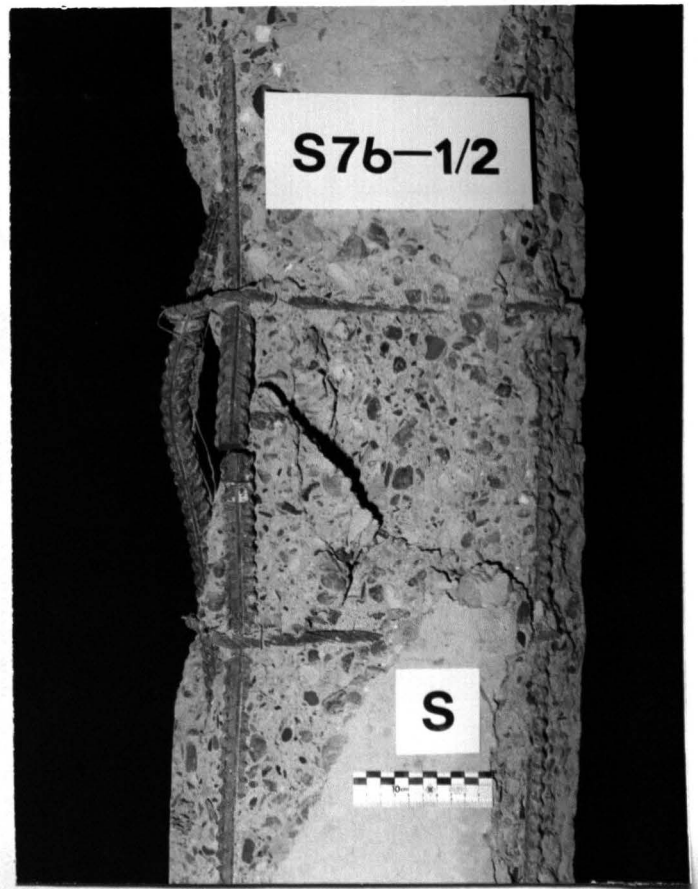


Bild 77 Eckeisen gebrochen  
(Druckzone)

Bilder 76 und 77: Bruchbereich der Stütze 76-1/2 nach dem Brandversuch



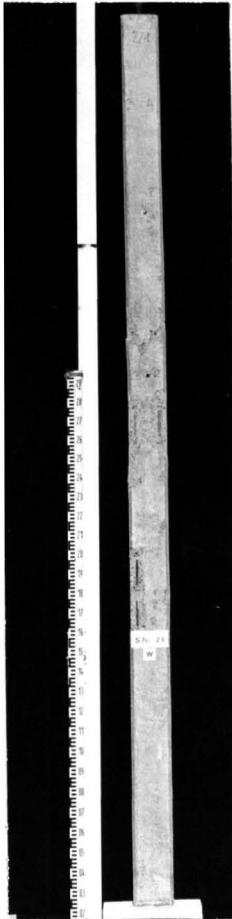


Bild 78

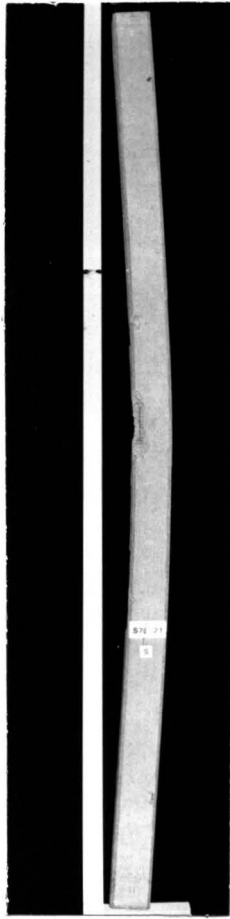


Bild 79

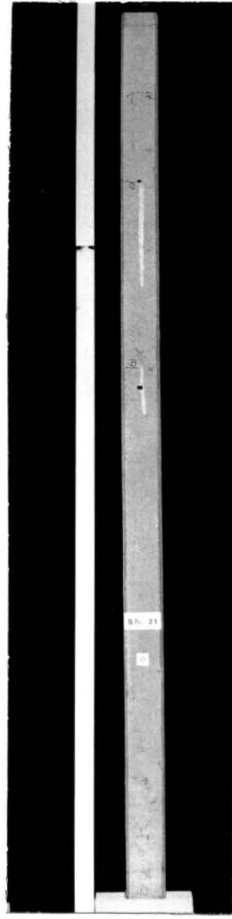


Bild 80

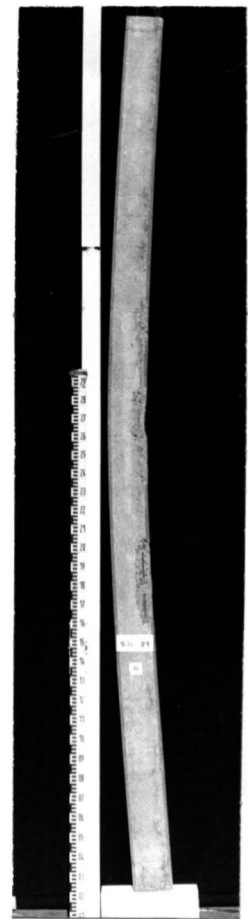


Bild 81

Bilder 78 - 81: Stütze 76-2/1 nach dem Brandversuch

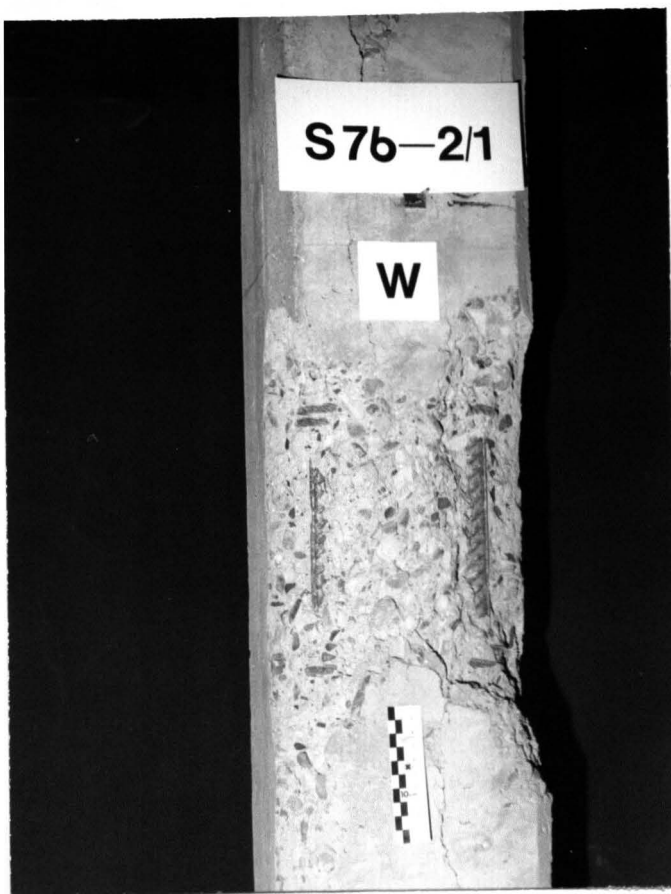


Bild 82 Druckzone

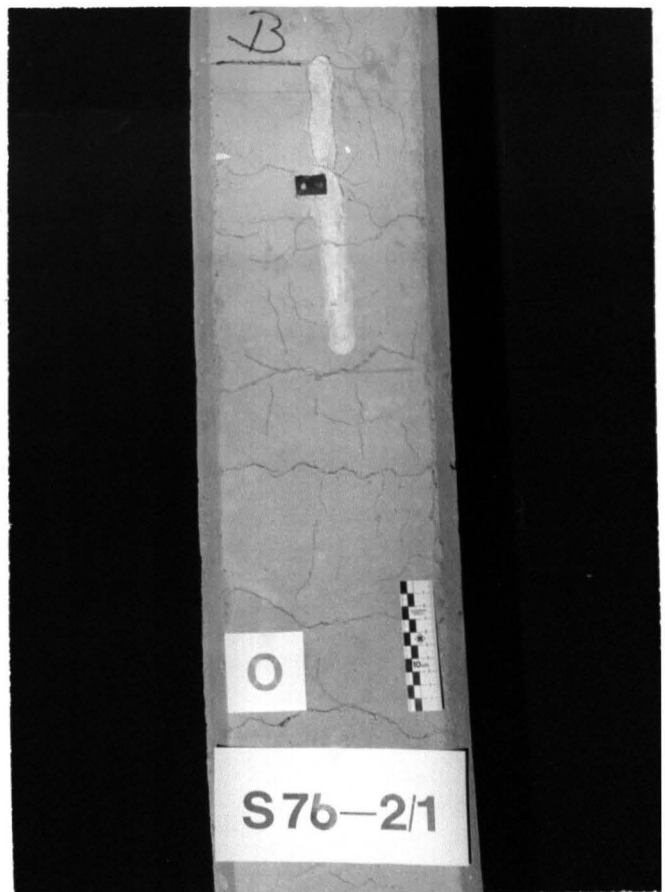


Bild 83 Zugzone mit Wasserschliere  
an der Betonoberfläche

Bilder 82 und 83: Bruchbereich der Stütze 76-2/1 nach dem Brandversuch

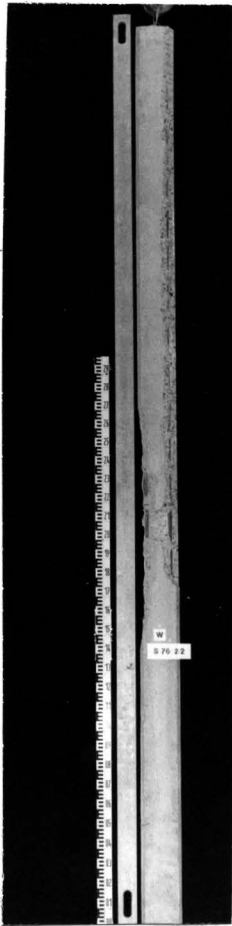


Bild 84

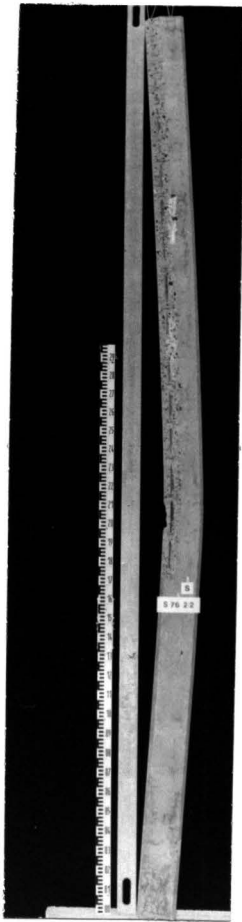


Bild 85



Bild 86

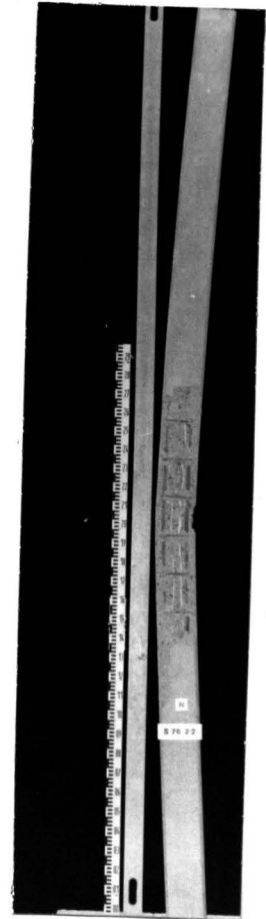


Bild 87

Bilder 84 - 87: Stütze 76-2/2 nach dem Brandversuch

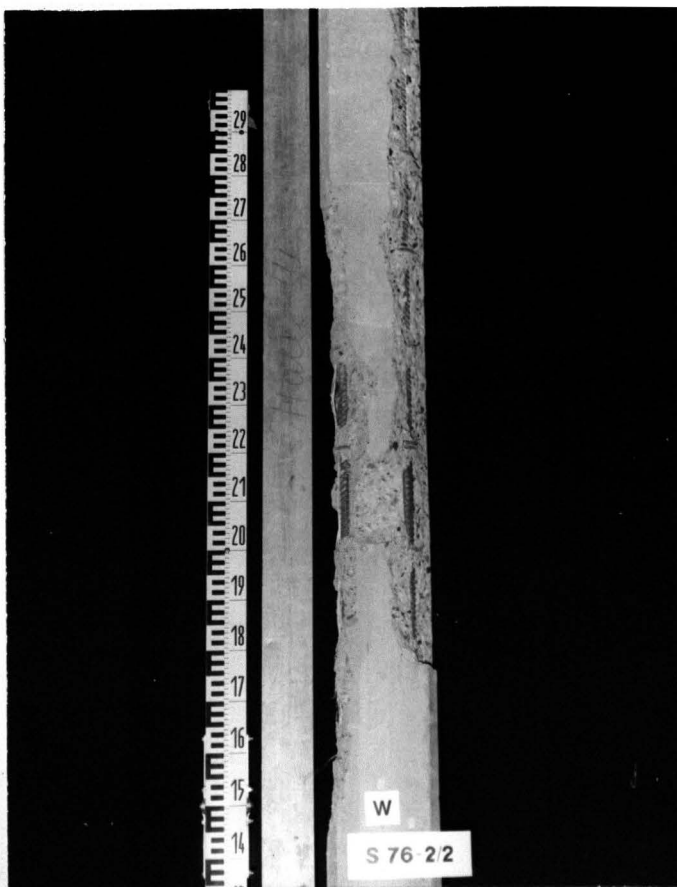


Bild 88



Bild 89

Bilder 88 und 89: Bruchbereich der Stütze 76-2/2 nach dem Brandversuch  
(starke Abplatzungen von der 14. - 19. Minute)

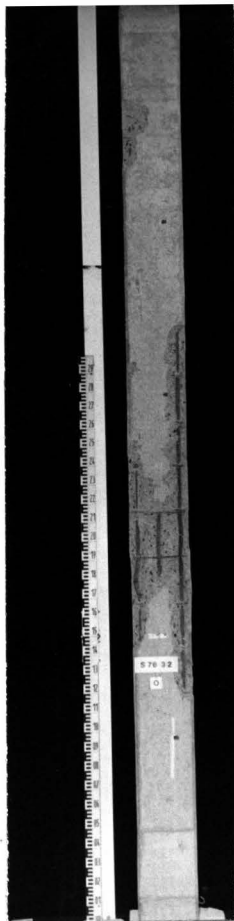


Bild 90

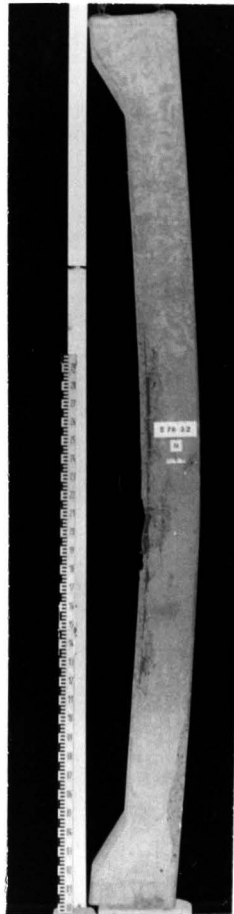


Bild 91

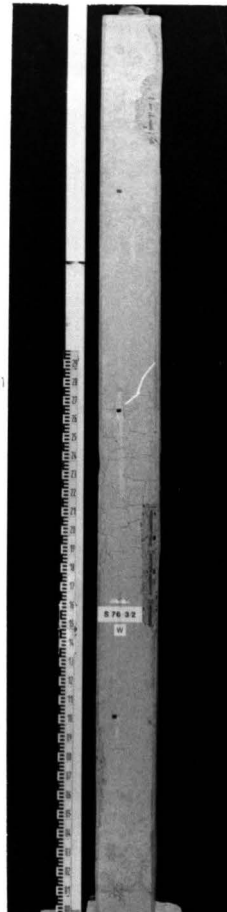


Bild 92

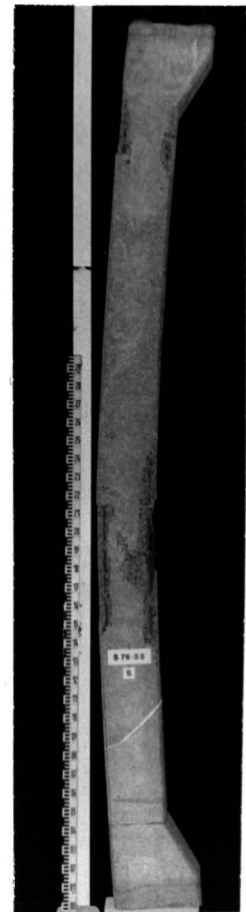


Bild 93

Bilder 90 - 93: Stütze 76-3/2 nach dem Brandversuch

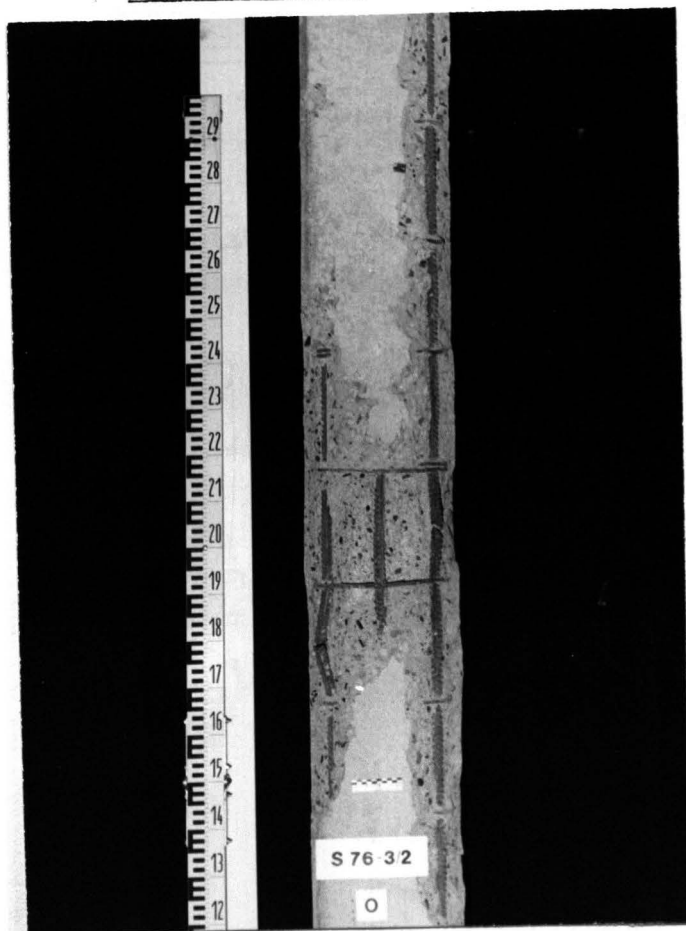


Bild 94

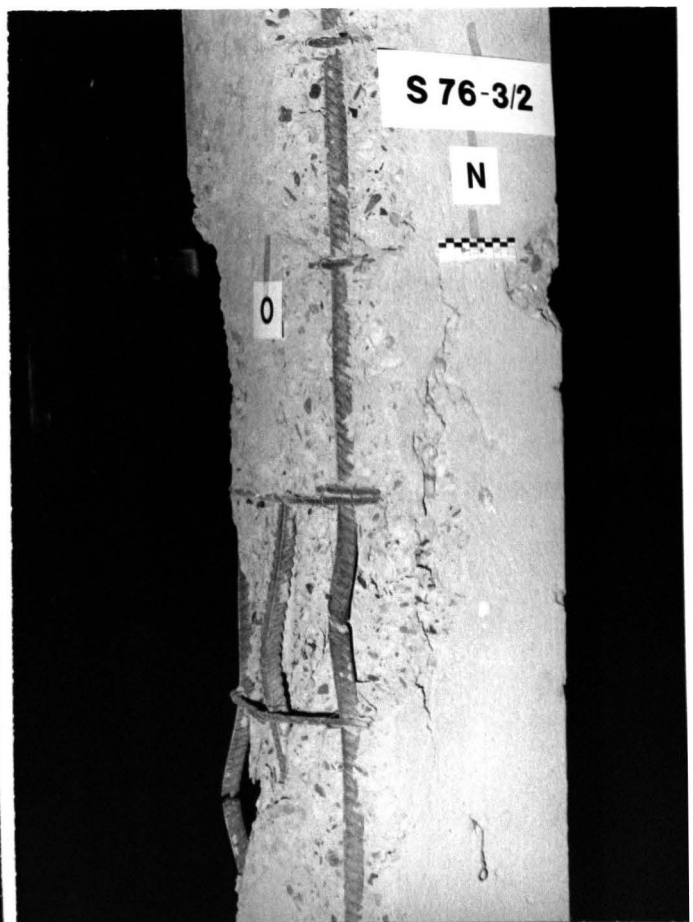


Bild 95

Bilder 94 und 95: Bruchbereich der Stütze 76-3/2 nach dem Brandversuch  
(Eckeisen in der Druckzone gebrochen)

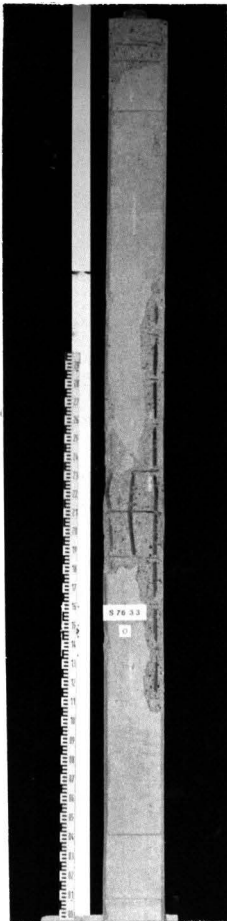


Bild 96



Bild 97

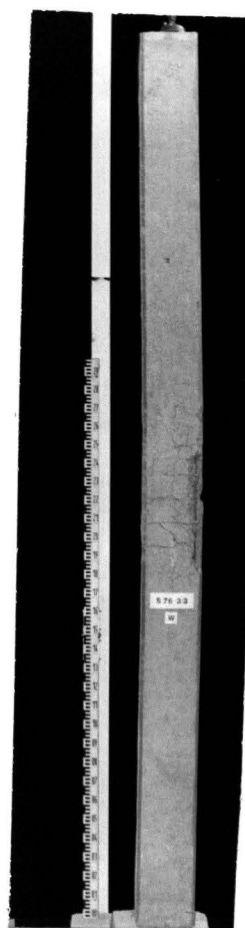


Bild 98

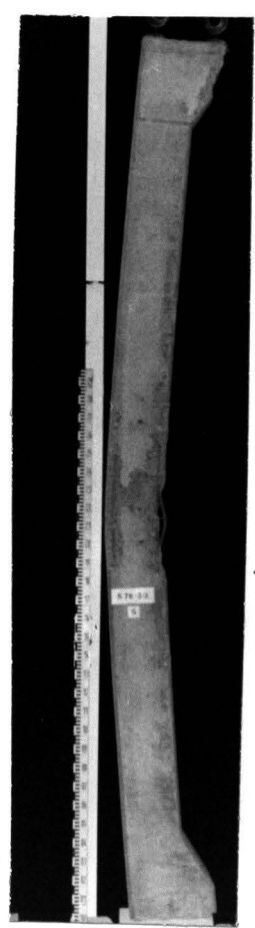


Bild 99

Bilder 96 - 99: Stütze 76-3/3 nach dem Brandversuch

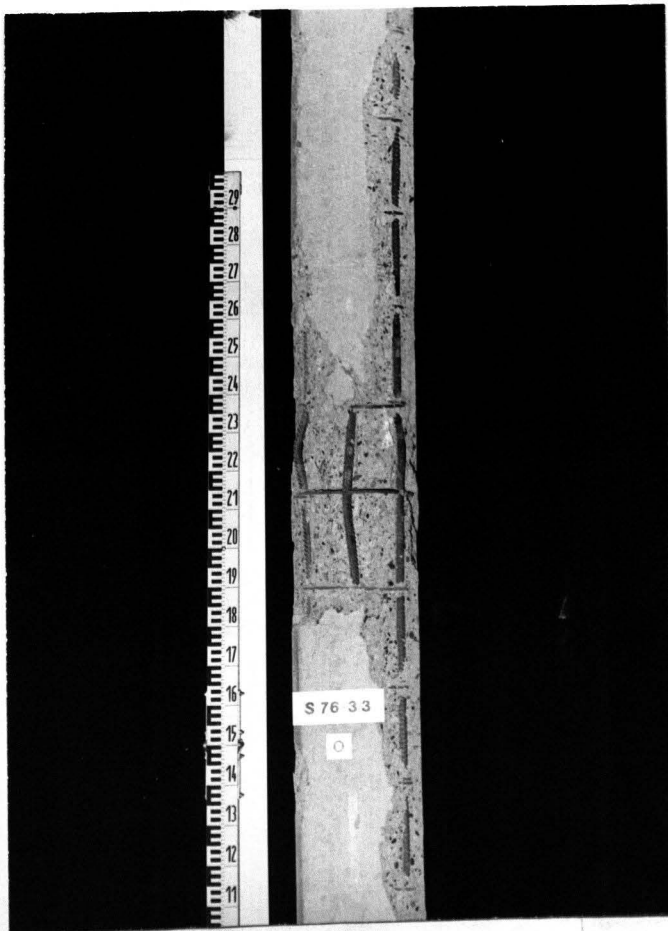


Bild 100



Bild 101

Bügel im Bereich der Eckabplatzung ( ) gebrochen

Bilder 100 und 101: Bruchbereich der Stütze 76-3/3 nach dem Brandversuch

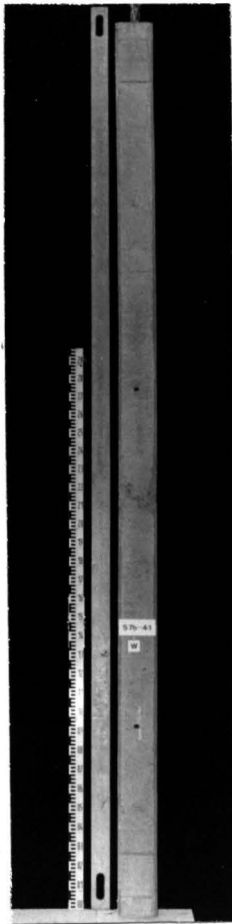


Bild 102

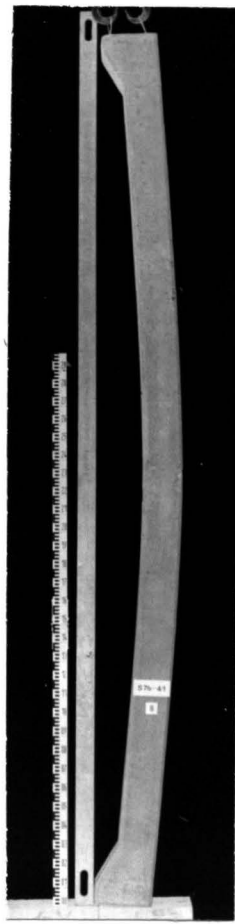


Bild 103

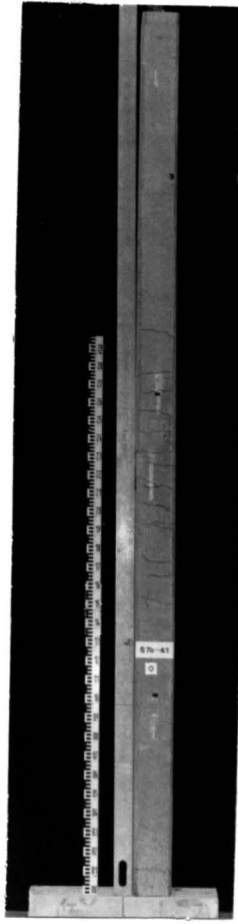


Bild 104

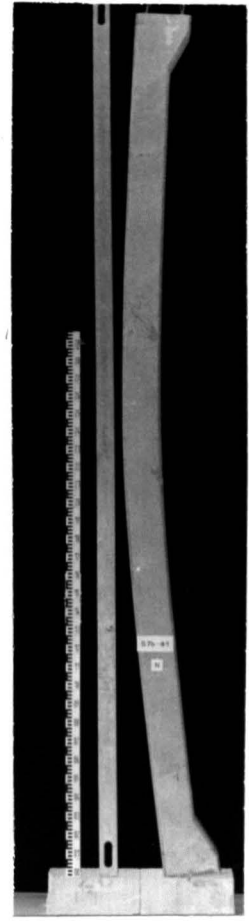


Bild 105

Bilder 102 - 105: Stütze 76-4/1 nach dem Brandversuch

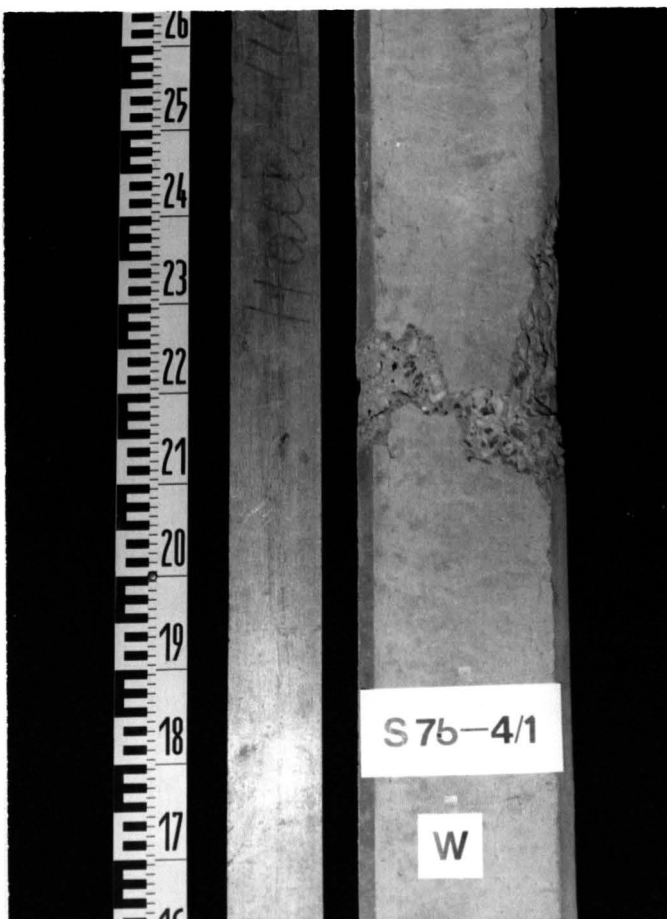


Bild 106 Druckzone

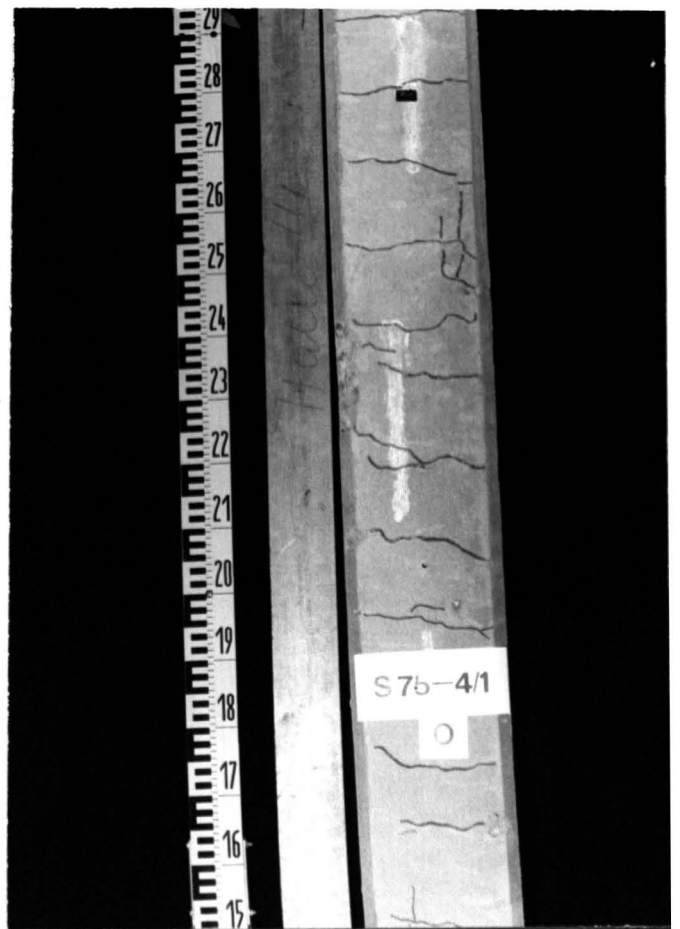


Bild 107 Zugzone mit Wasserschliefen

Bilder 106 und 107: Bruchbereich der Stütze 76-4/1 nach dem Brandversuch



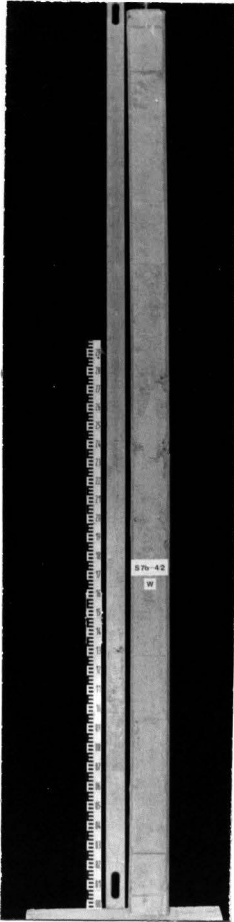


Bild 108

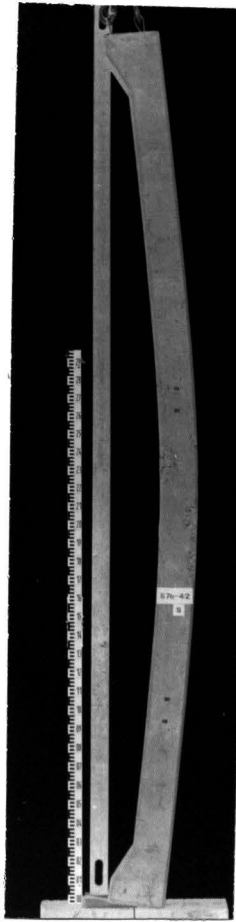


Bild 109

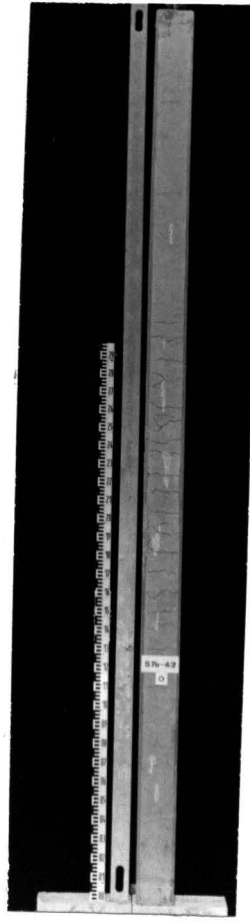


Bild 110

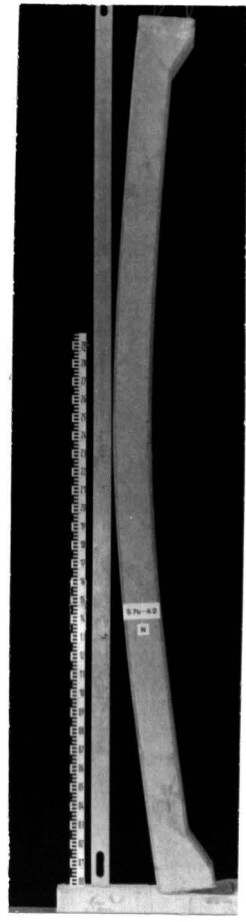


Bild 111

Bilder 108 - 111: Stütze 76-4/2 nach dem Brandversuch



Bild 112 Druckzone

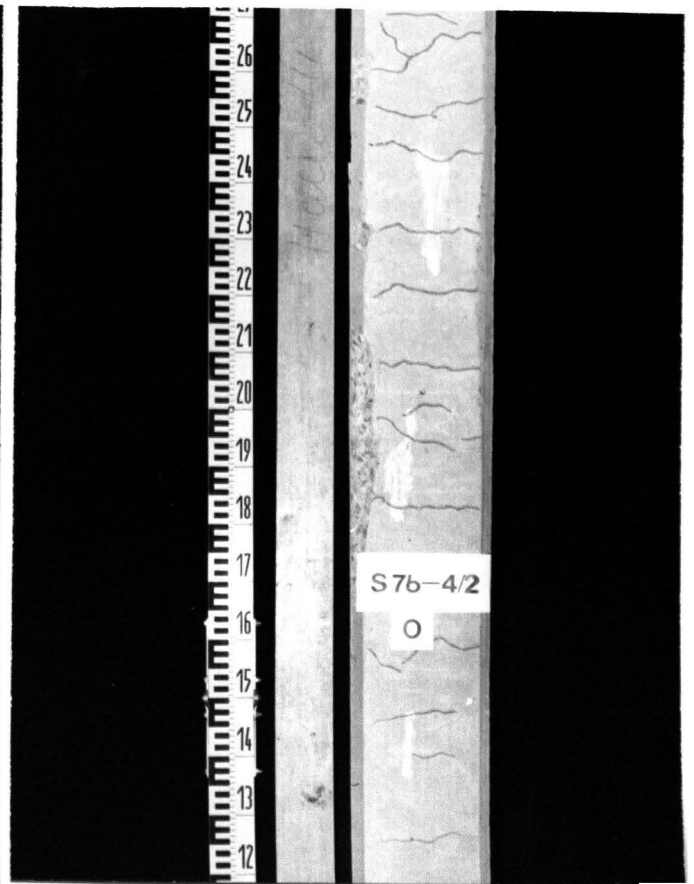


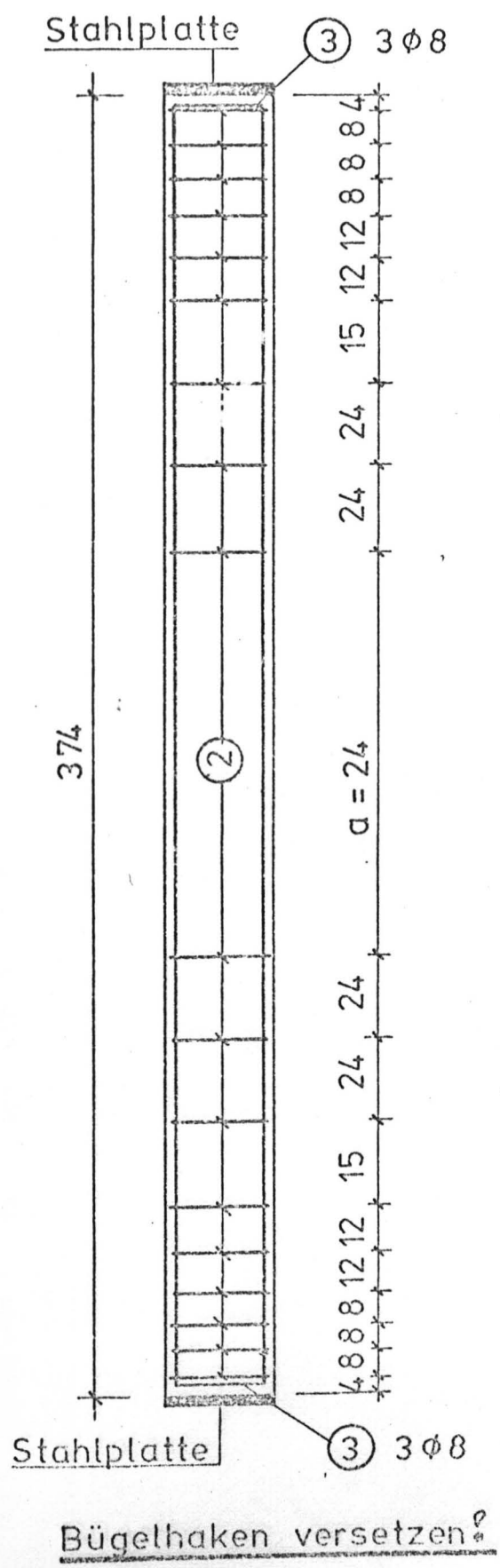
Bild 113 Zugzone

Bilder 112 und 113: Bruchbereich der Stütze 76-4/2 nach dem Brandversuch

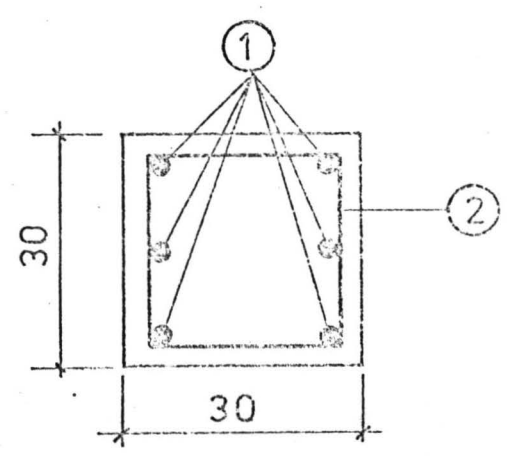
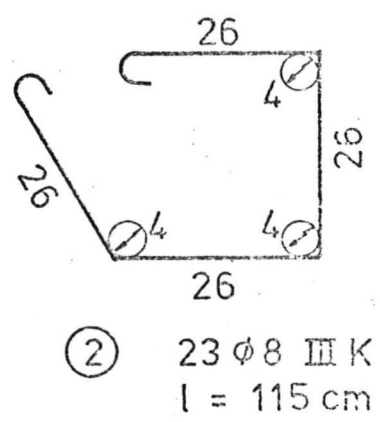
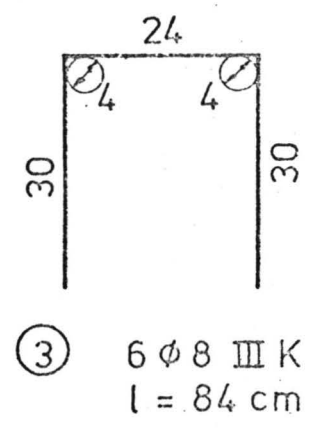
## 13.2 Bewehrungspläne der Versuchskörper

Stahlbetonstütze S 75 - 1

Stützenlänge : 374 cm



① 6  $\phi$  20 III U l = 370 cm



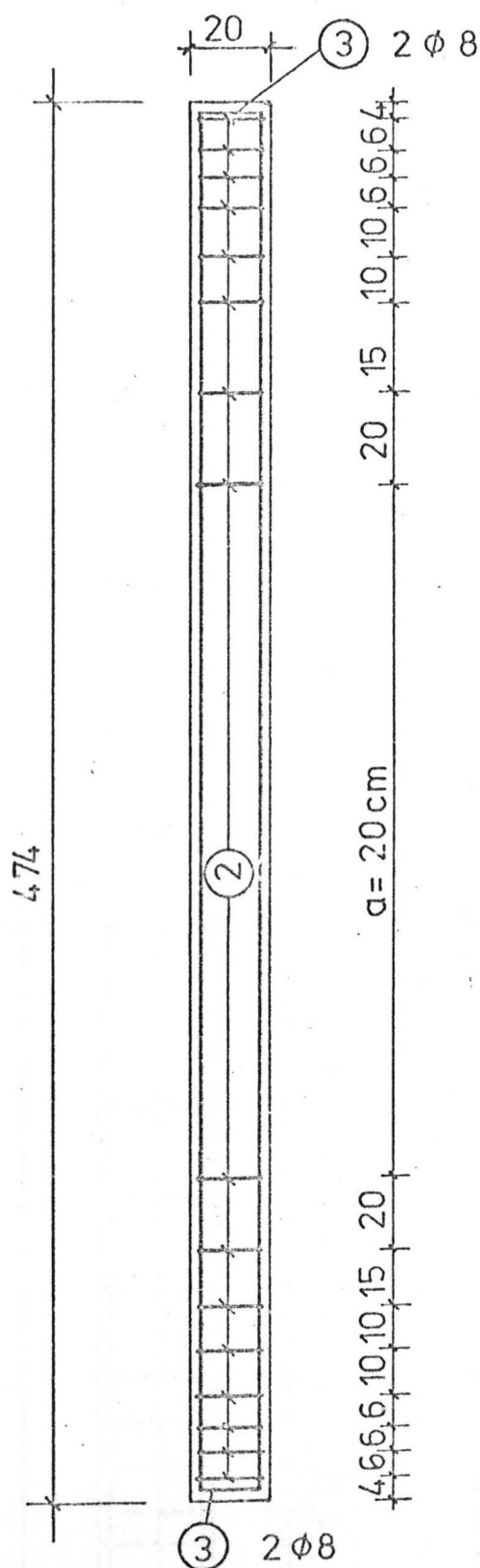
Baustoffe : Bn 250  
BSt 42/50 RU  
BSt 42/50 RK  
Betondeckung : 2cm





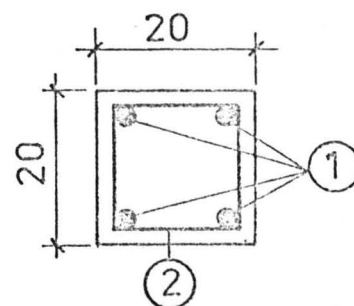
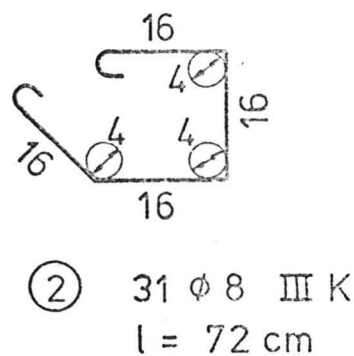
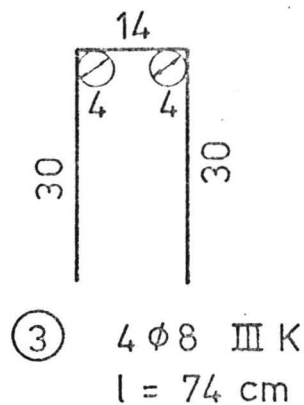






Bügelhaken versetzen?

(1) 4 φ 20 III U l = 470 cm



Baustoffe: Bn 250

BSt 42/50 RU

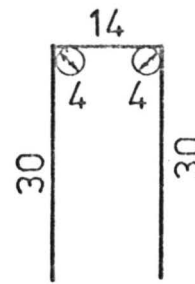
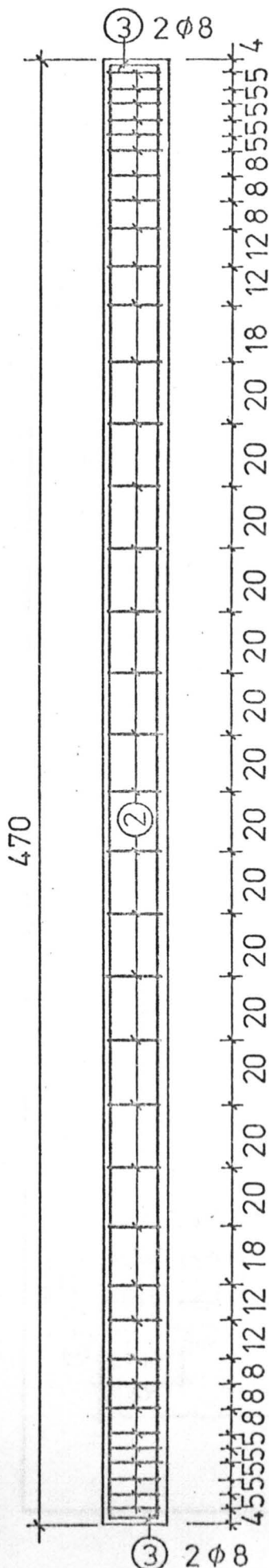
BSt 42/50 RK

Betondeckung: 2cm

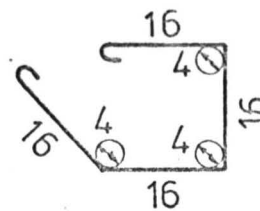


## Stahlbetonstütze S 76-2

Stützenlänge : 470 cm / 33 -

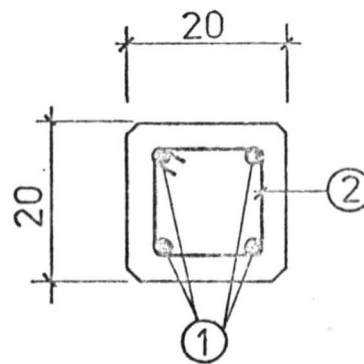


③  $4\phi 8$  III K  $l = 74\text{ cm}$



② 37  $\phi$  8 III K  $l = 77 \text{ cm}$

Bügelhaken versetzen!



Betondeckung : 2 cm

Baustoffe : Bn 250

BSst 42/50 RU

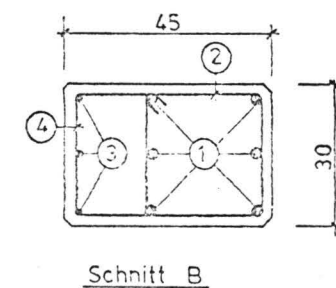
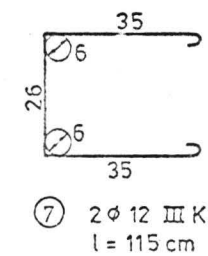
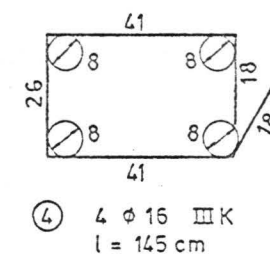
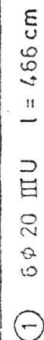
BSst 42/50 RK

① 4 φ 20 III U l = 466 cm

Sonderforschungsbereich 148  
Brandverhalten von Bauteilen

# Brandverhalten von Bauteilen

Bild 7

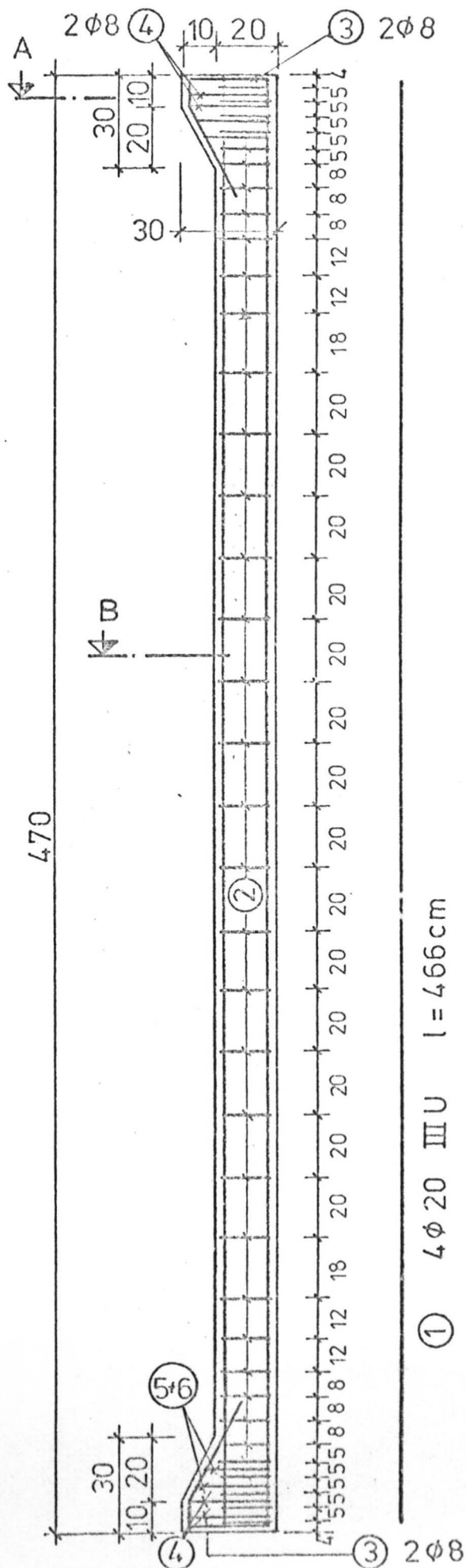




S 76 - 4

Stützenlänge : 470 cm

-35-

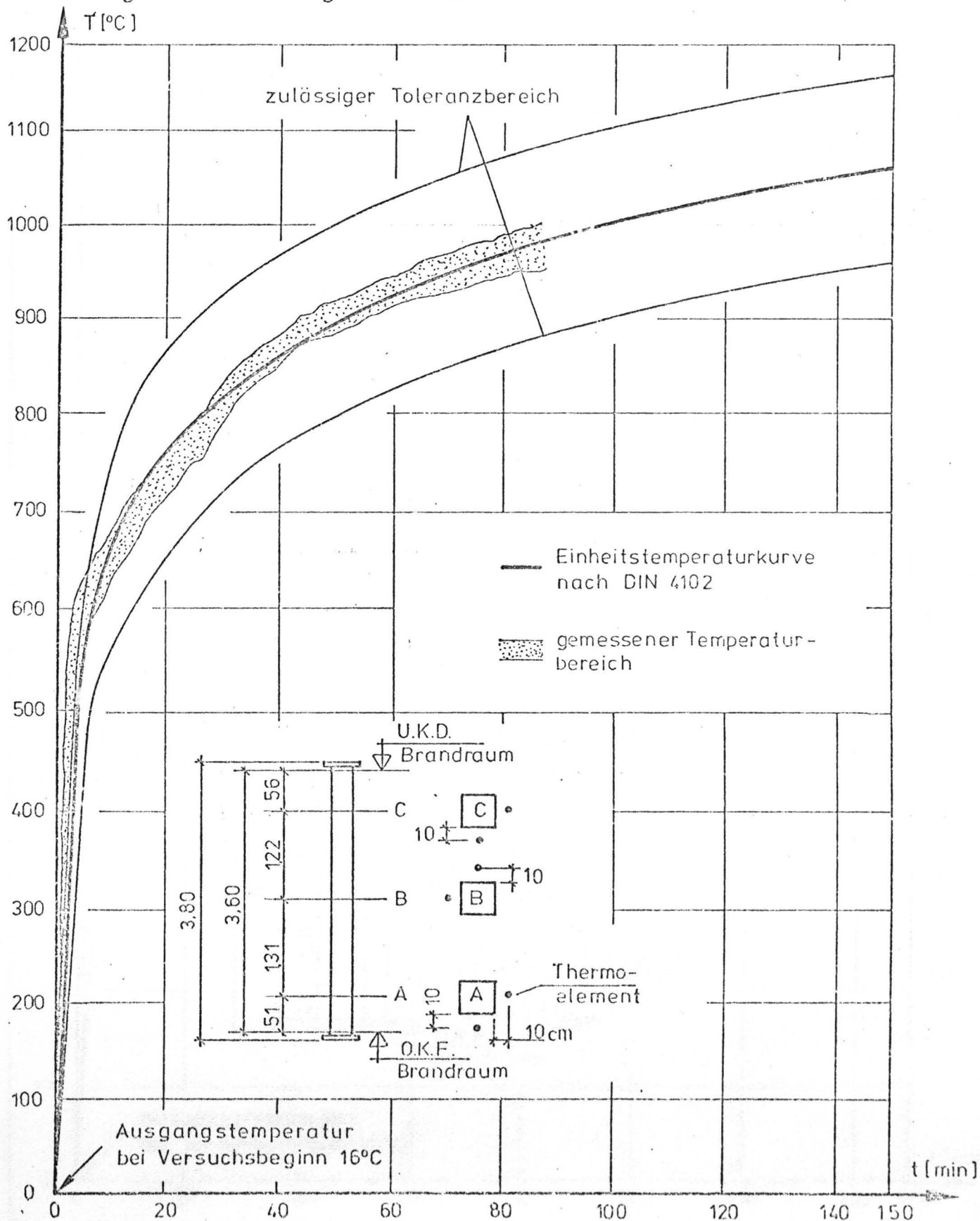




13.3.1. Brandraumtemperaturen

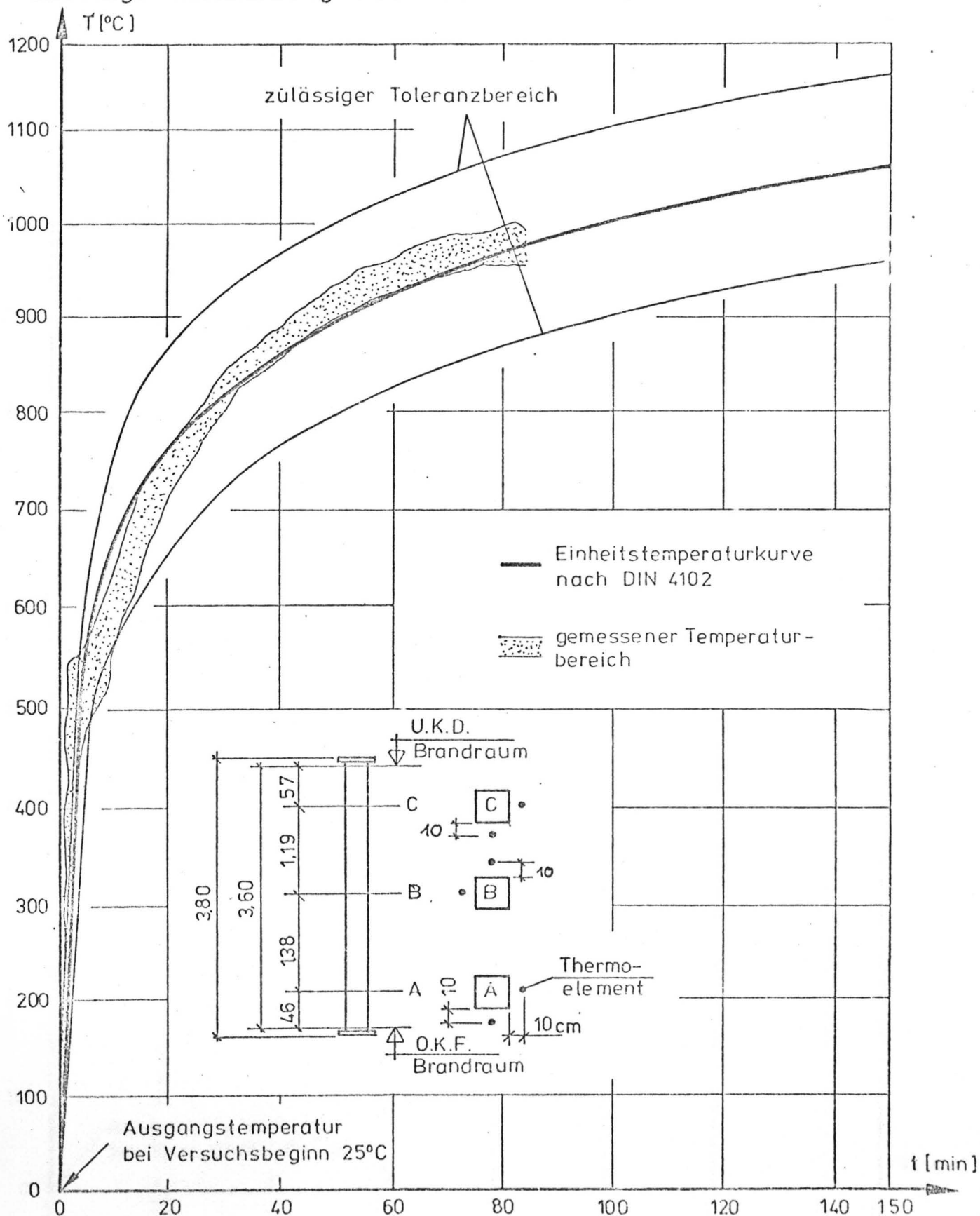
## Brandraumtemperaturmessung

allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)



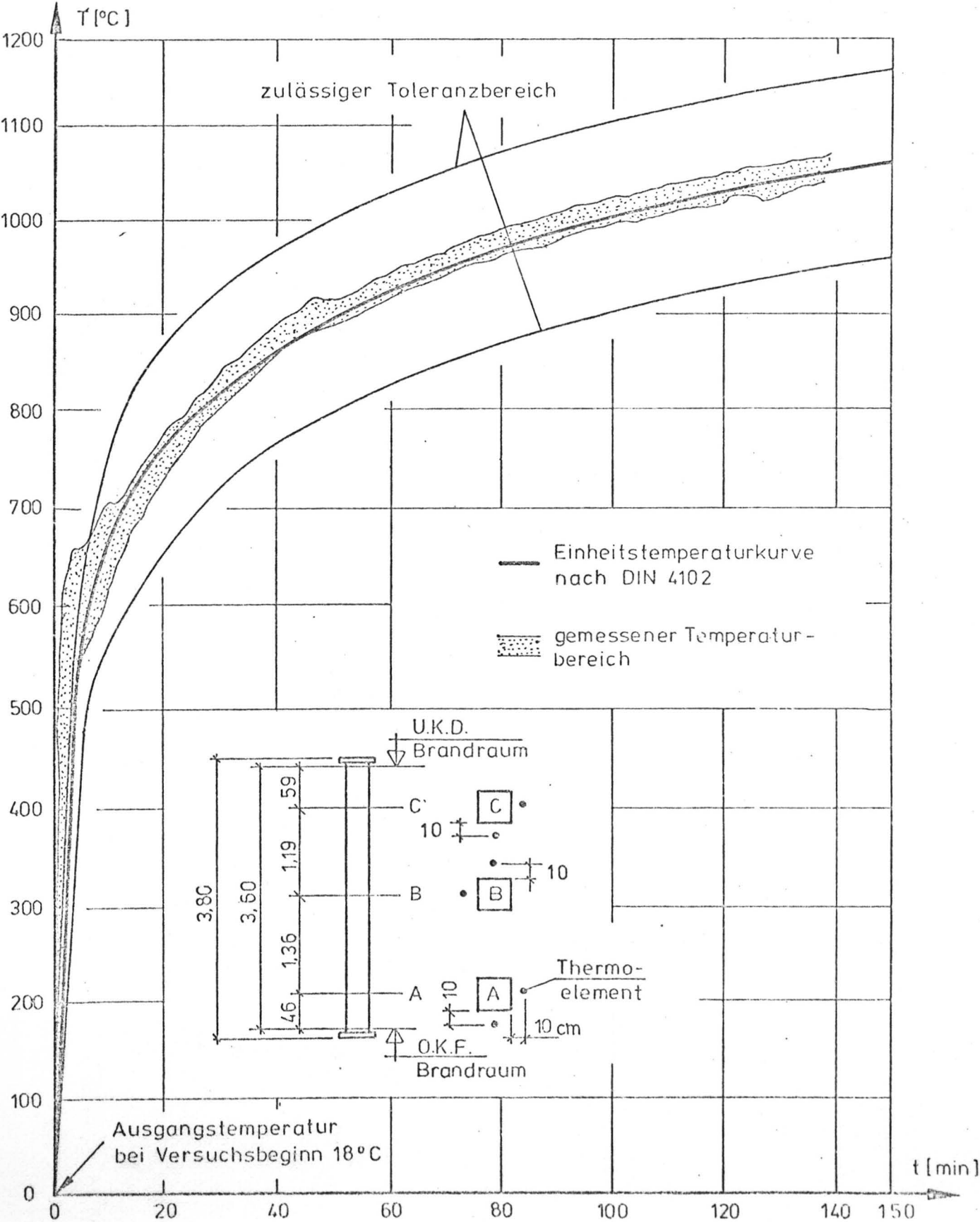
# Brandraumtemperaturmessung

allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)



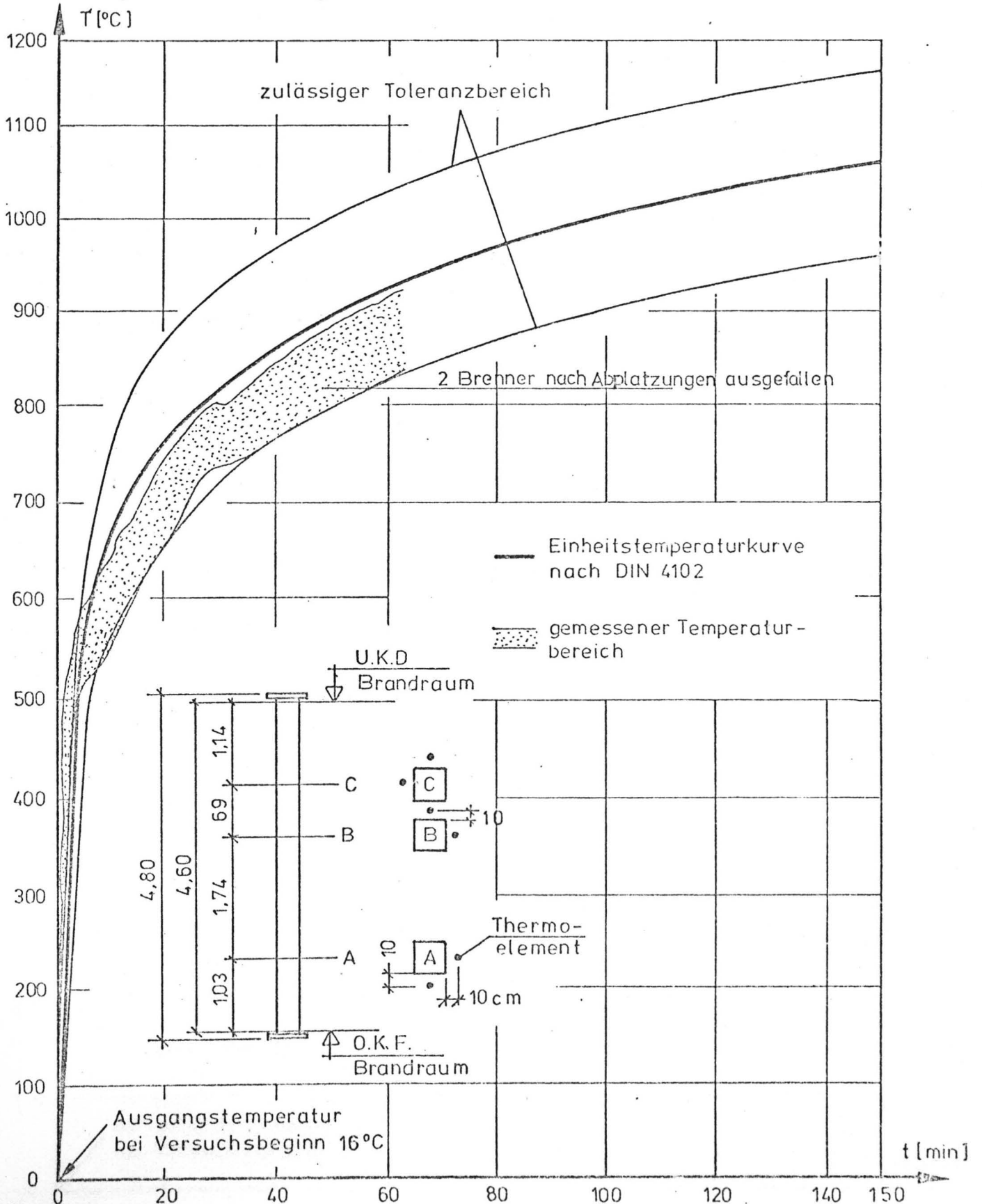
Brandraumtemperaturmessung

allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)



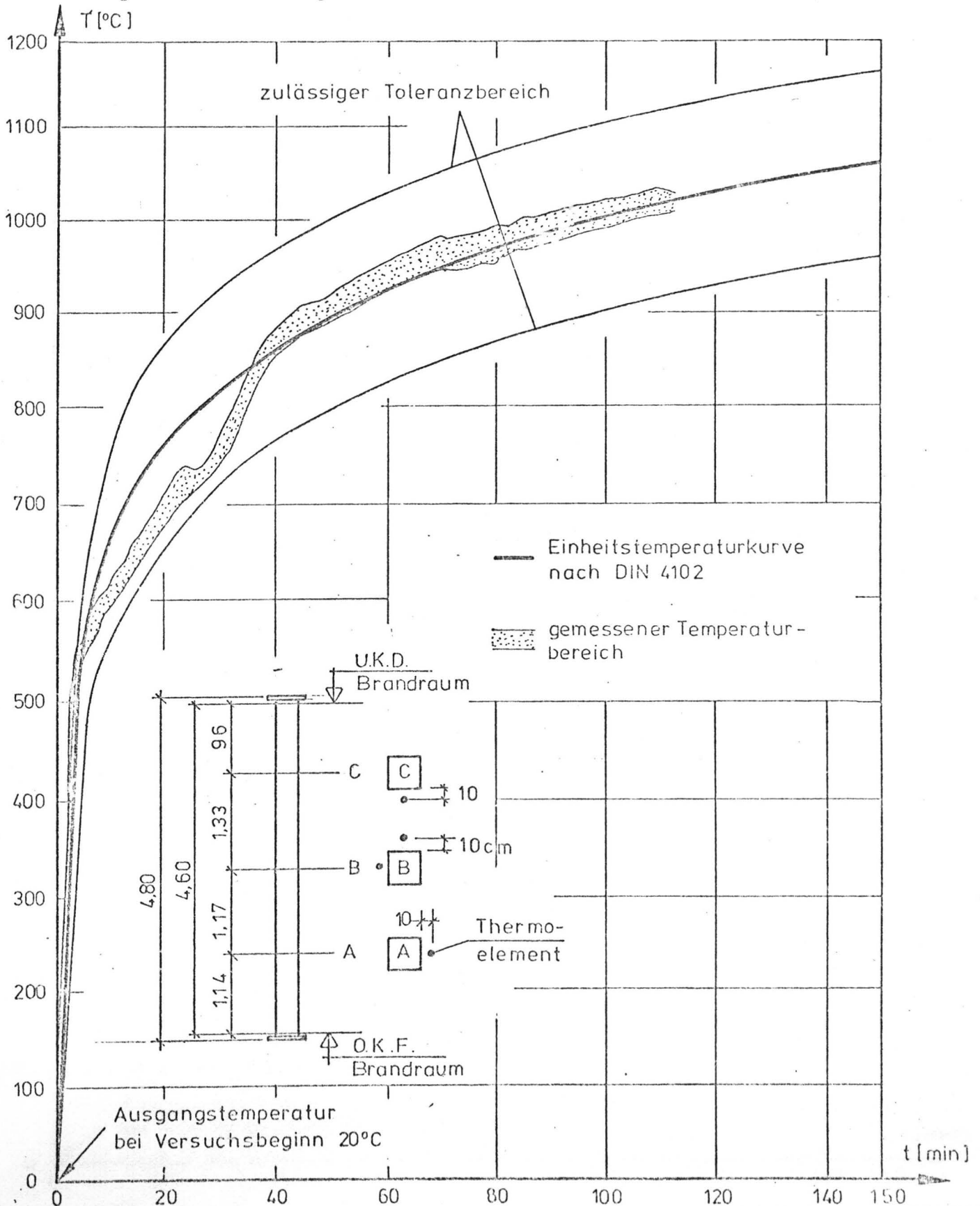
## Brandraumtemperaturmessung

allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)



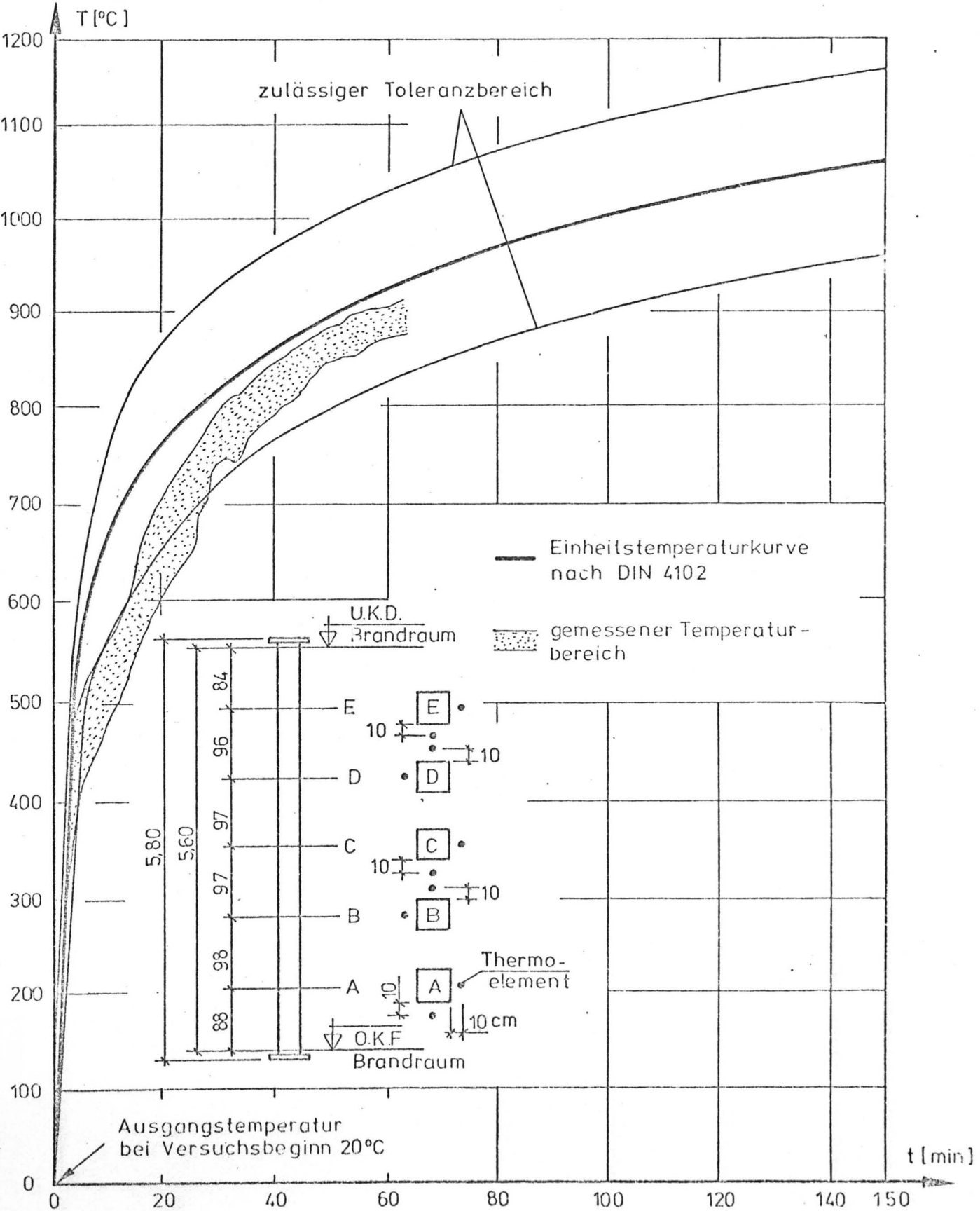
## Brandraumtemperaturmessung

allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)



Brandraumtemperaturmessung

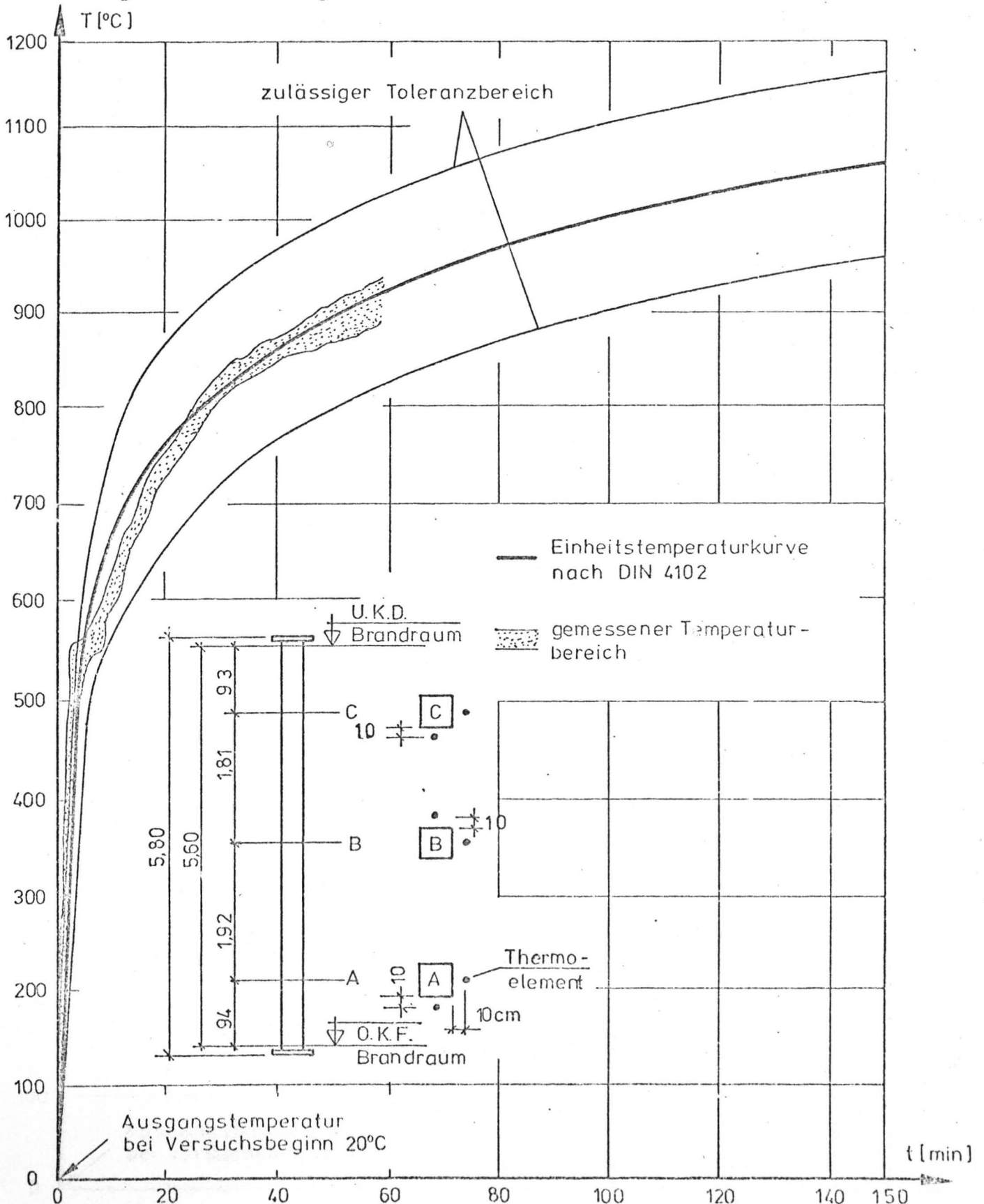
allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)





## Brandraumtemperaturmessung

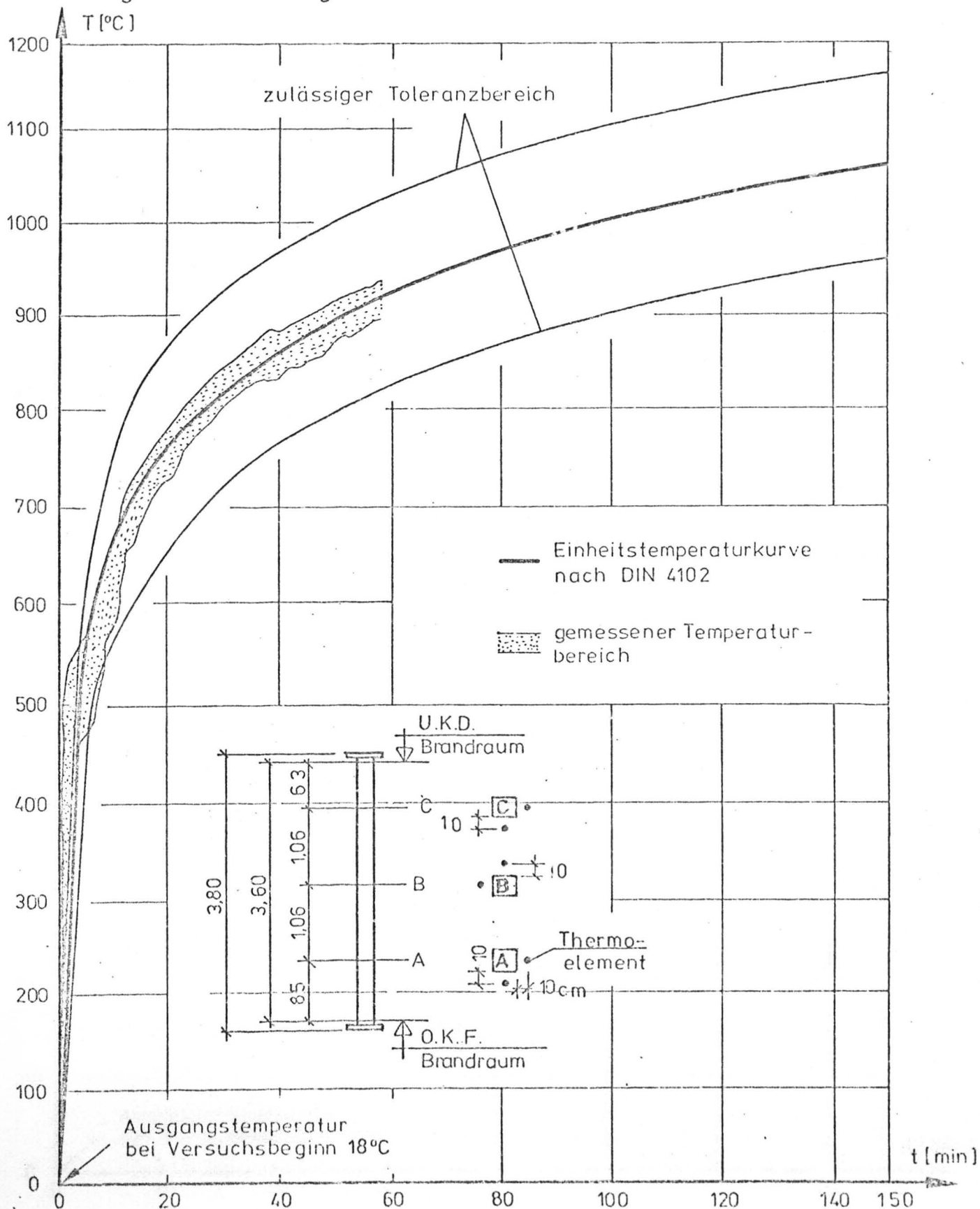
allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)





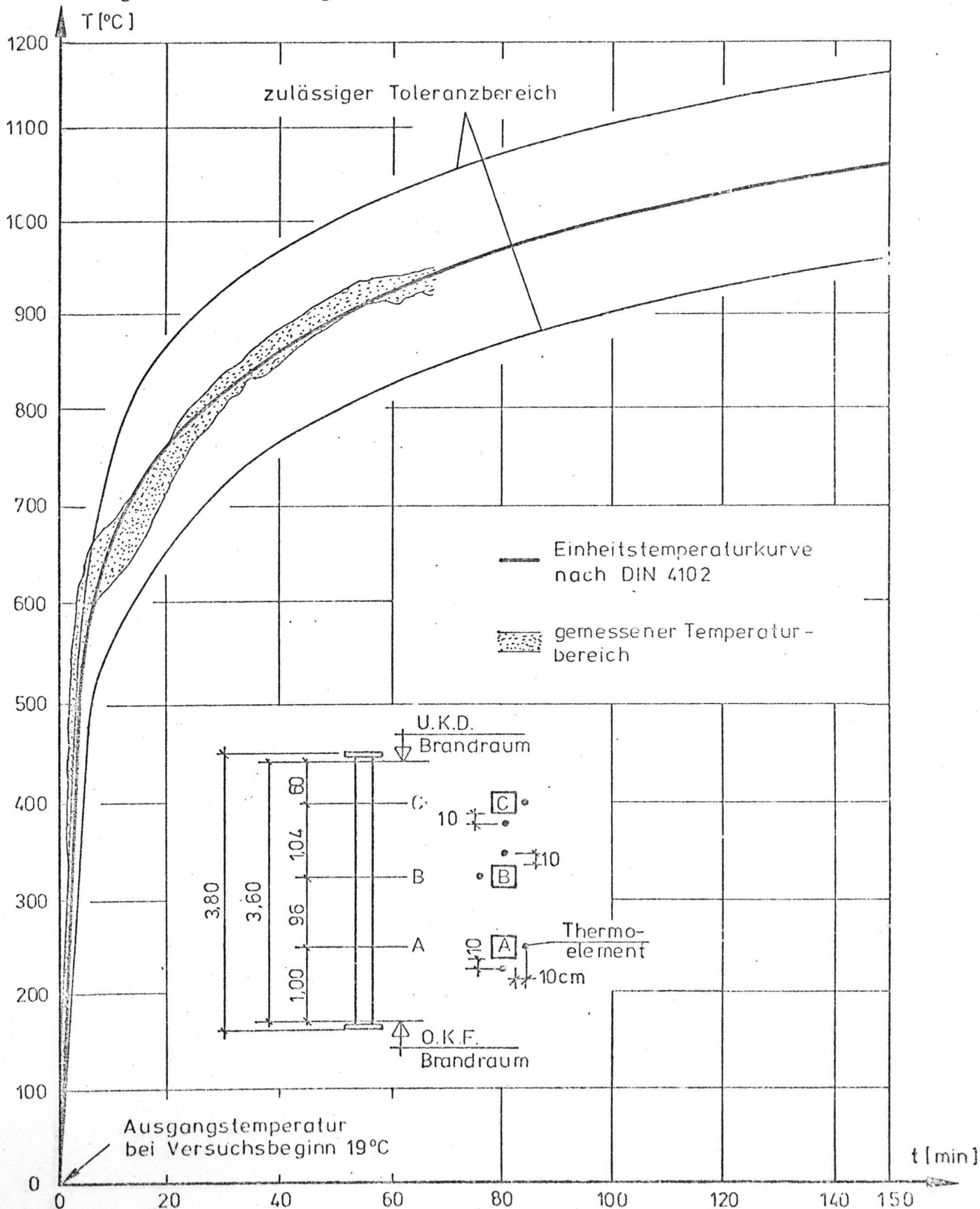
## Brandraumtemperaturmessung

allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)



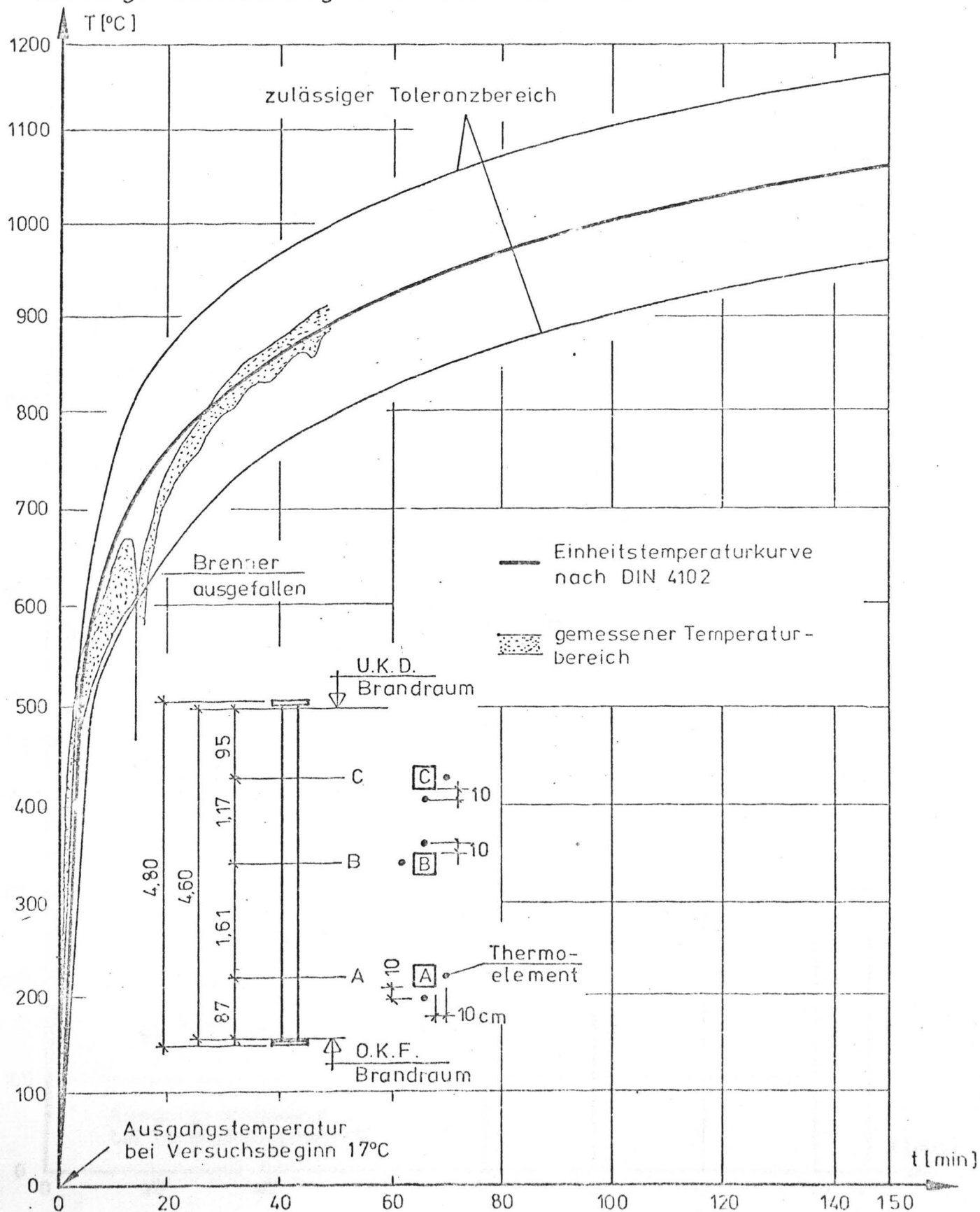
# Brandraumtemperaturmessung

allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)



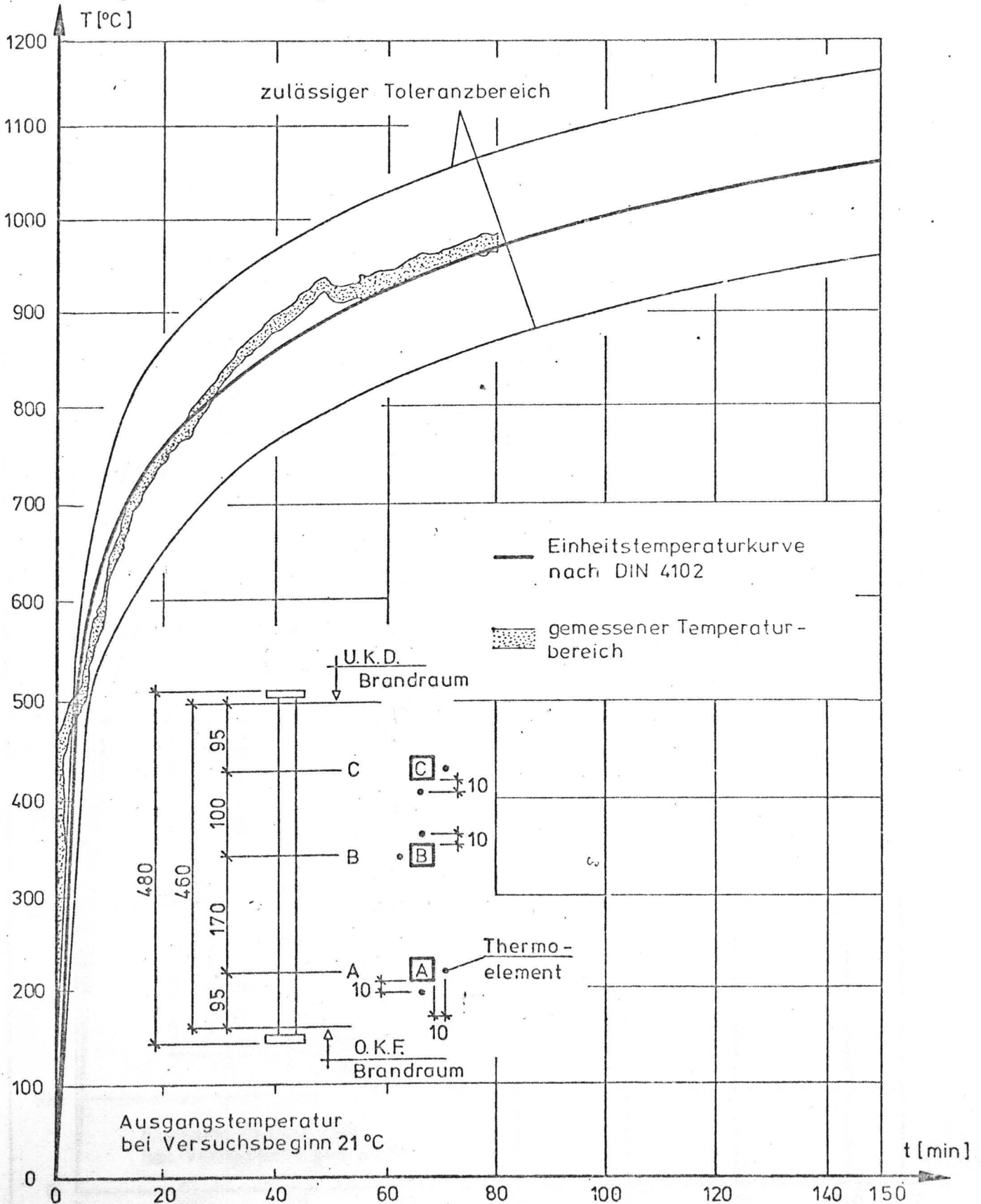
# Brandraumtemperaturmessung

allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)



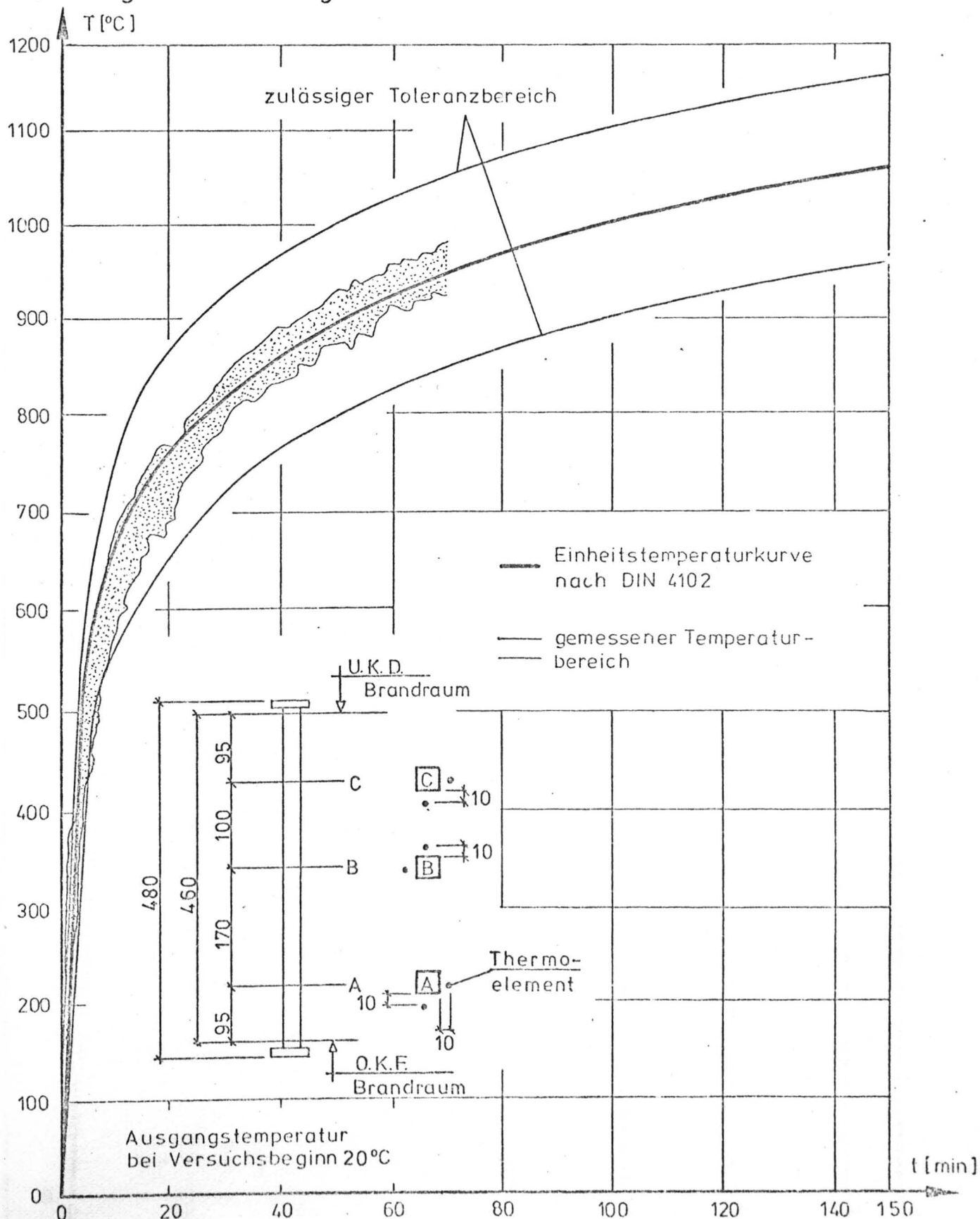
## Brandraumtemperaturmessung

allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)



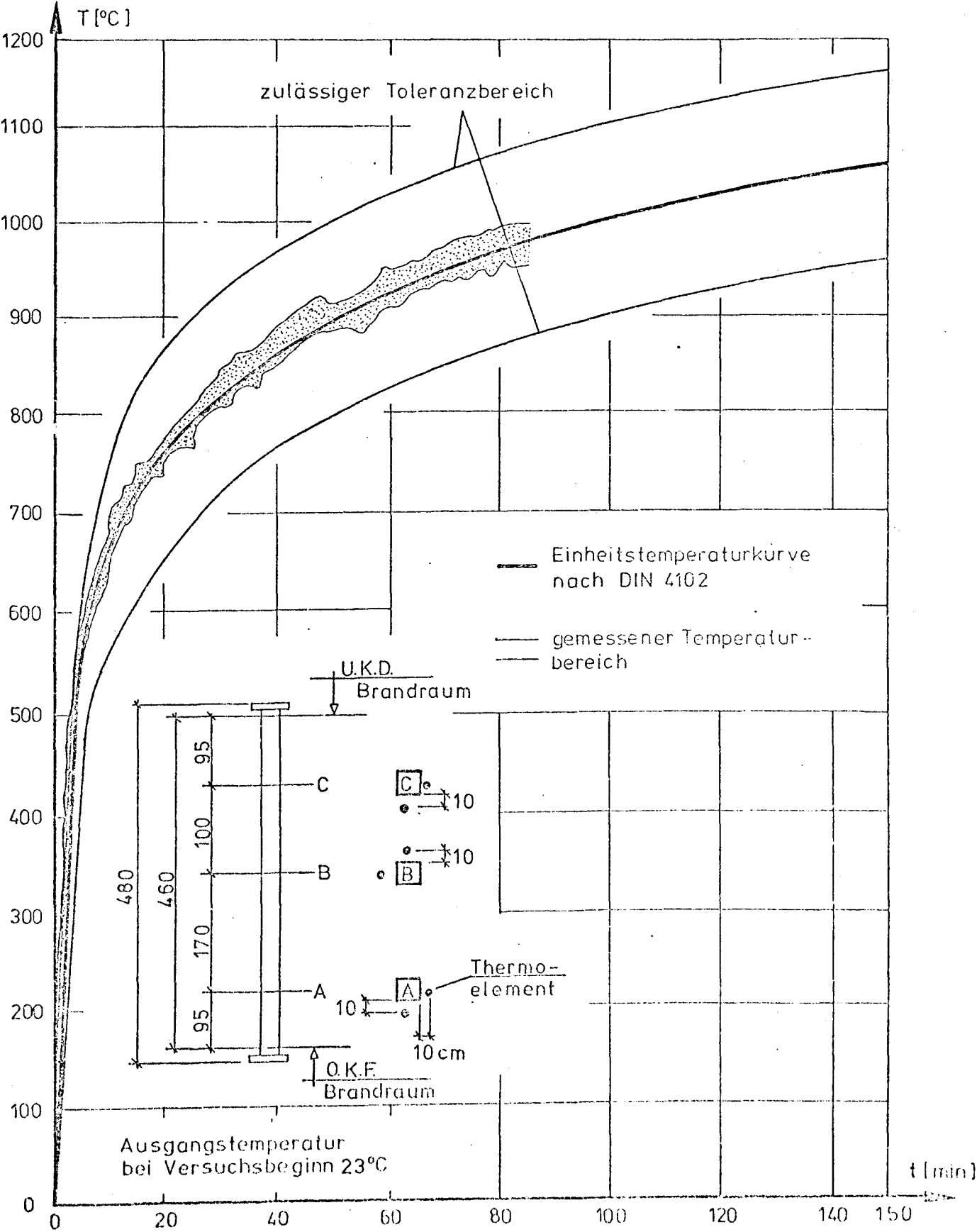
# Brandraumtemperaturmessung

allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)



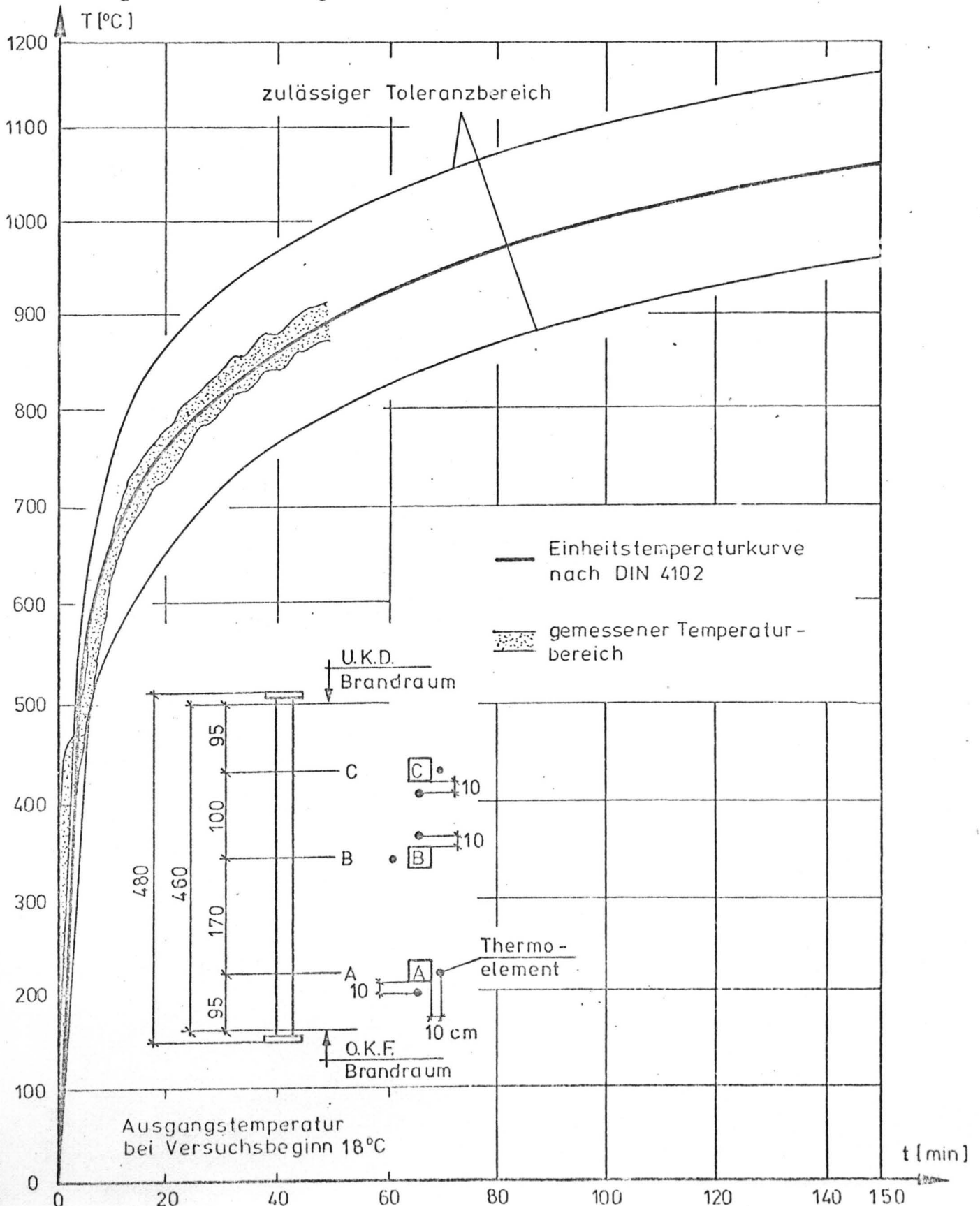
Brandraumtemperaturmessung

allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)



## Brandraumtemperaturmessung

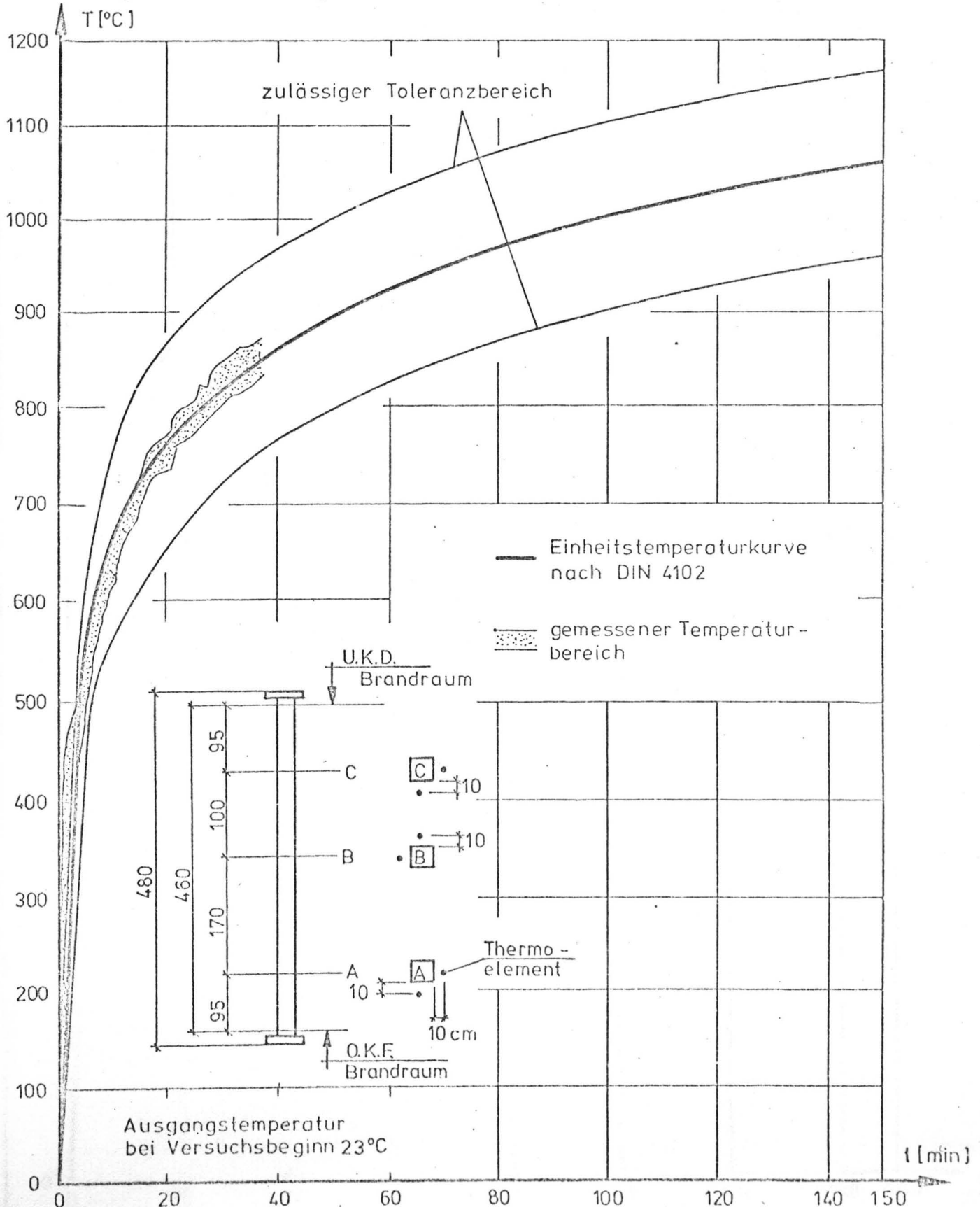
allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)





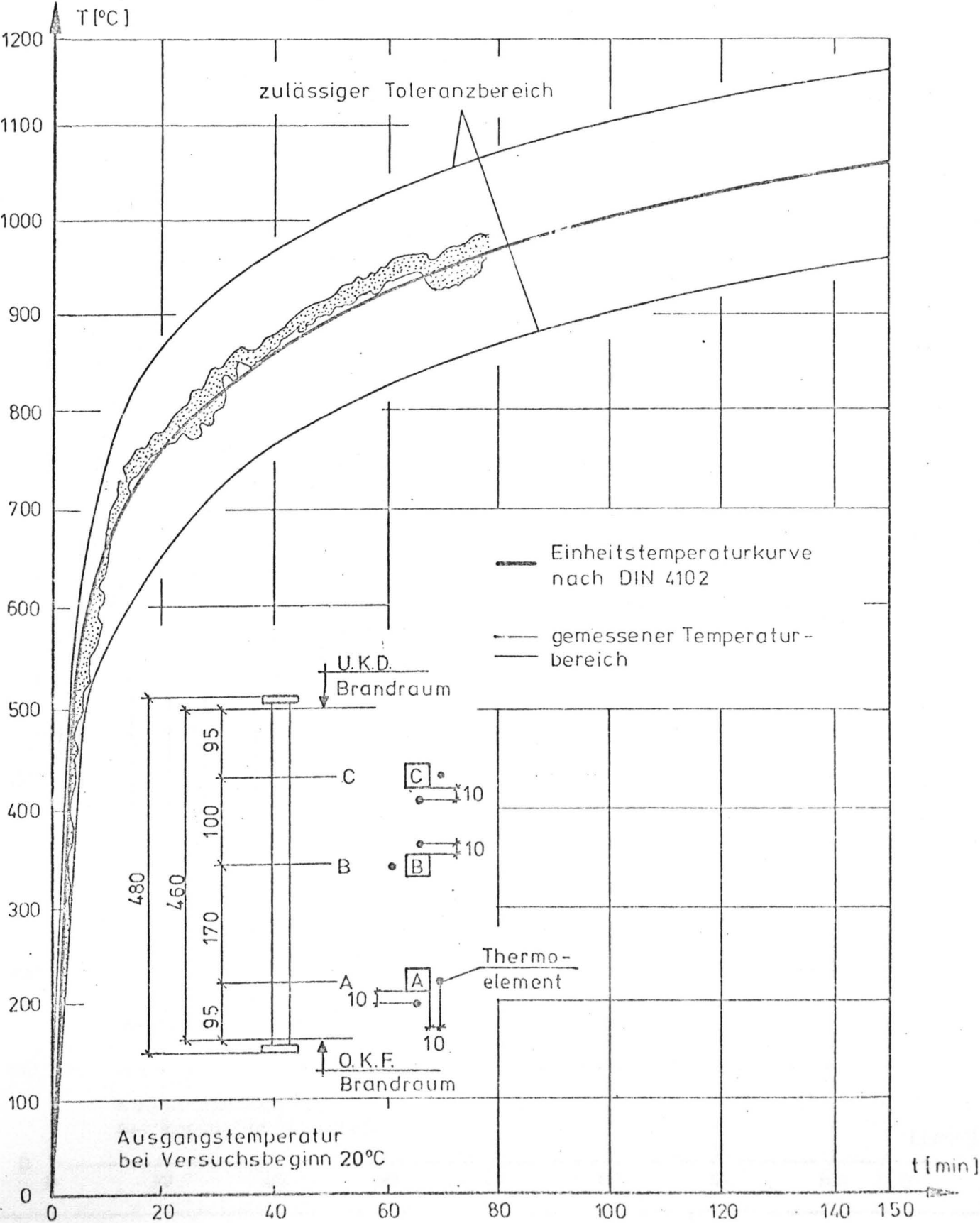
## Brandraumtemperaturmessung

allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)



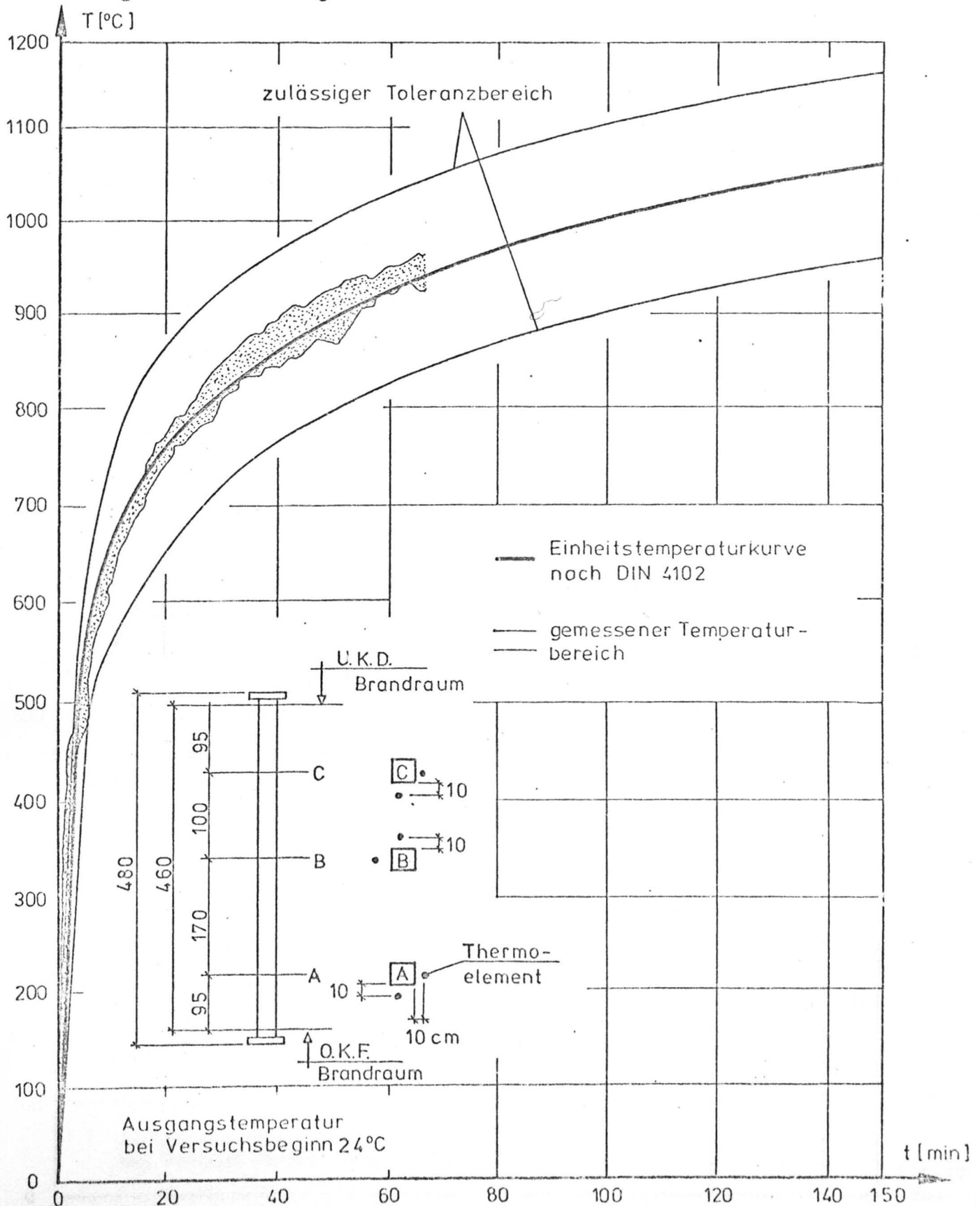
Brandraumtemperaturmessung

allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)



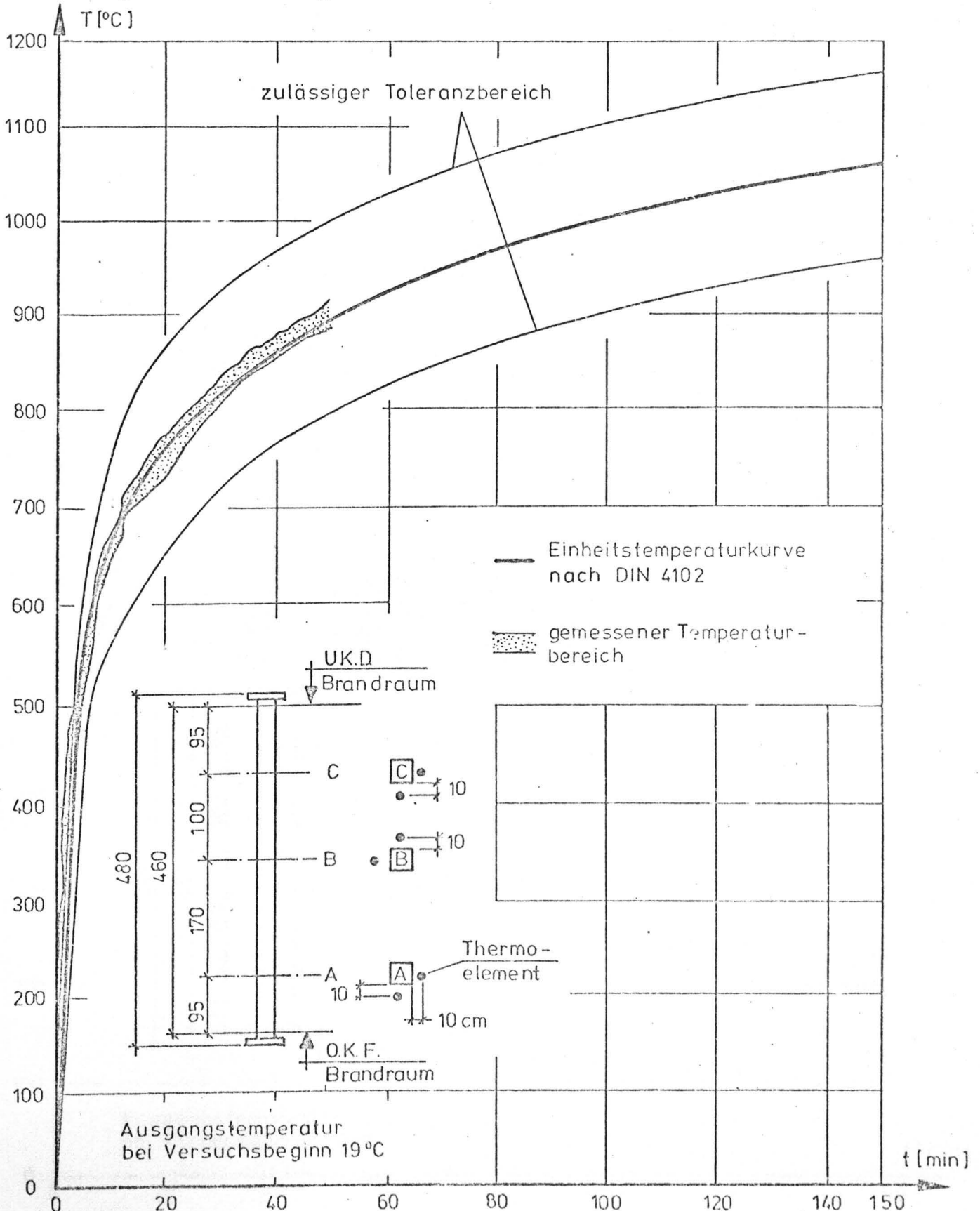
lichte Brandraumhöhe : 460 cm

allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)



## Brandraumtemperaturmessung

allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)



Stahlbetonstütze S 76-4/2

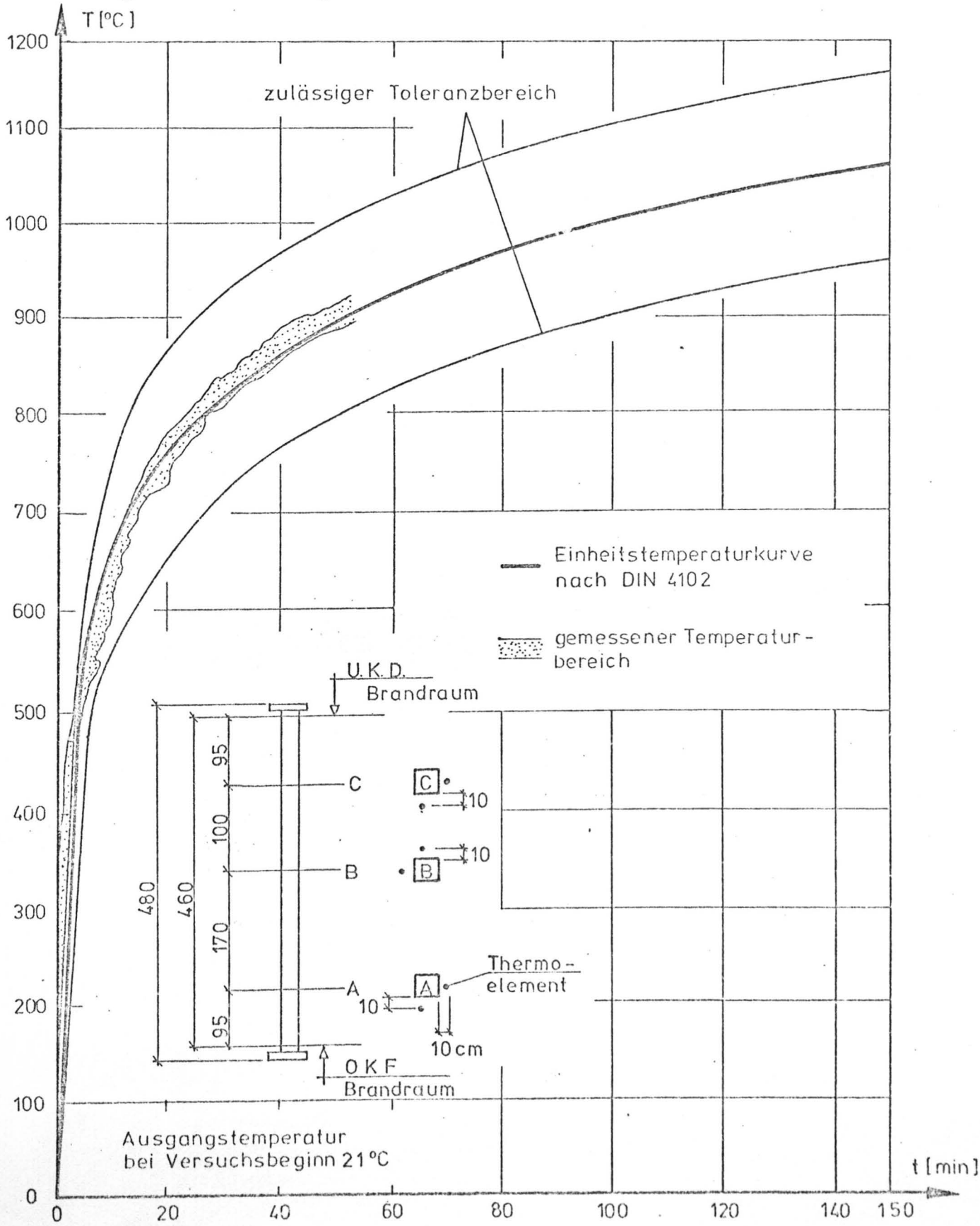
Querschnitt 20x20 cm

Stützenlänge : 480 cm

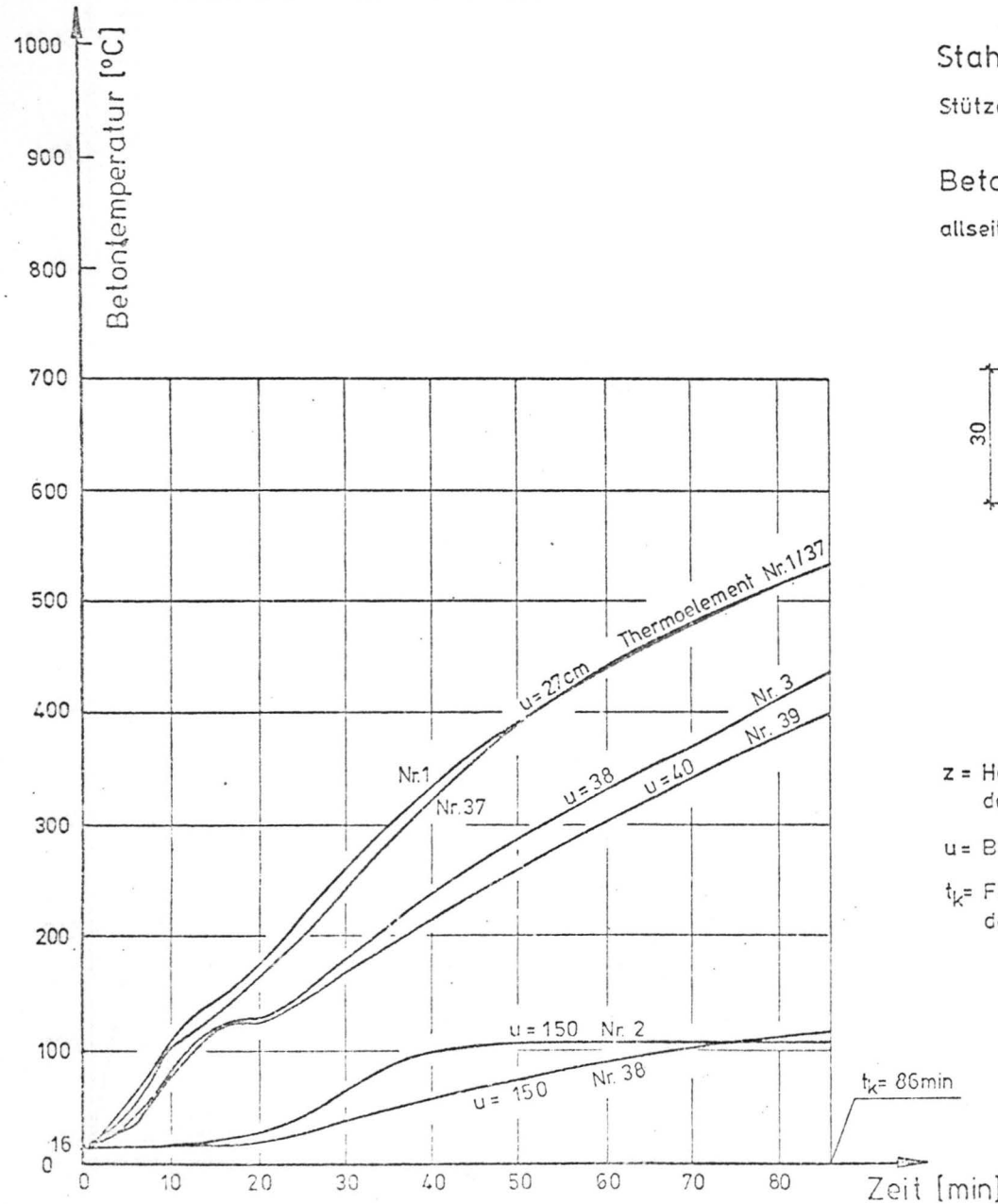
lichte Brandraumhöhe : 460 cm

Brandraumtemperaturmessung

allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)



13.3.2. Bauteiltemperaturen

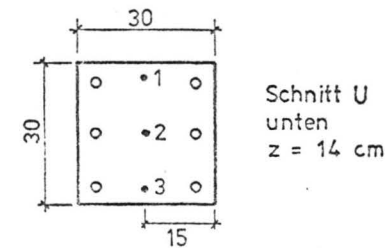


Stahlbetonstütze S75-1/1 Querschnitt 30×30 cm

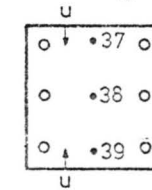
Stützenlänge: 380 cm lichte Brandraumhöhe: 360 cm

Betontemperaturmessung (Temperatur-Zeit-Kurven)

allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)



Schnitt U  
unten  
 $z = 14$  cm



Schnitt D  
oben  
 $z = 345$  cm

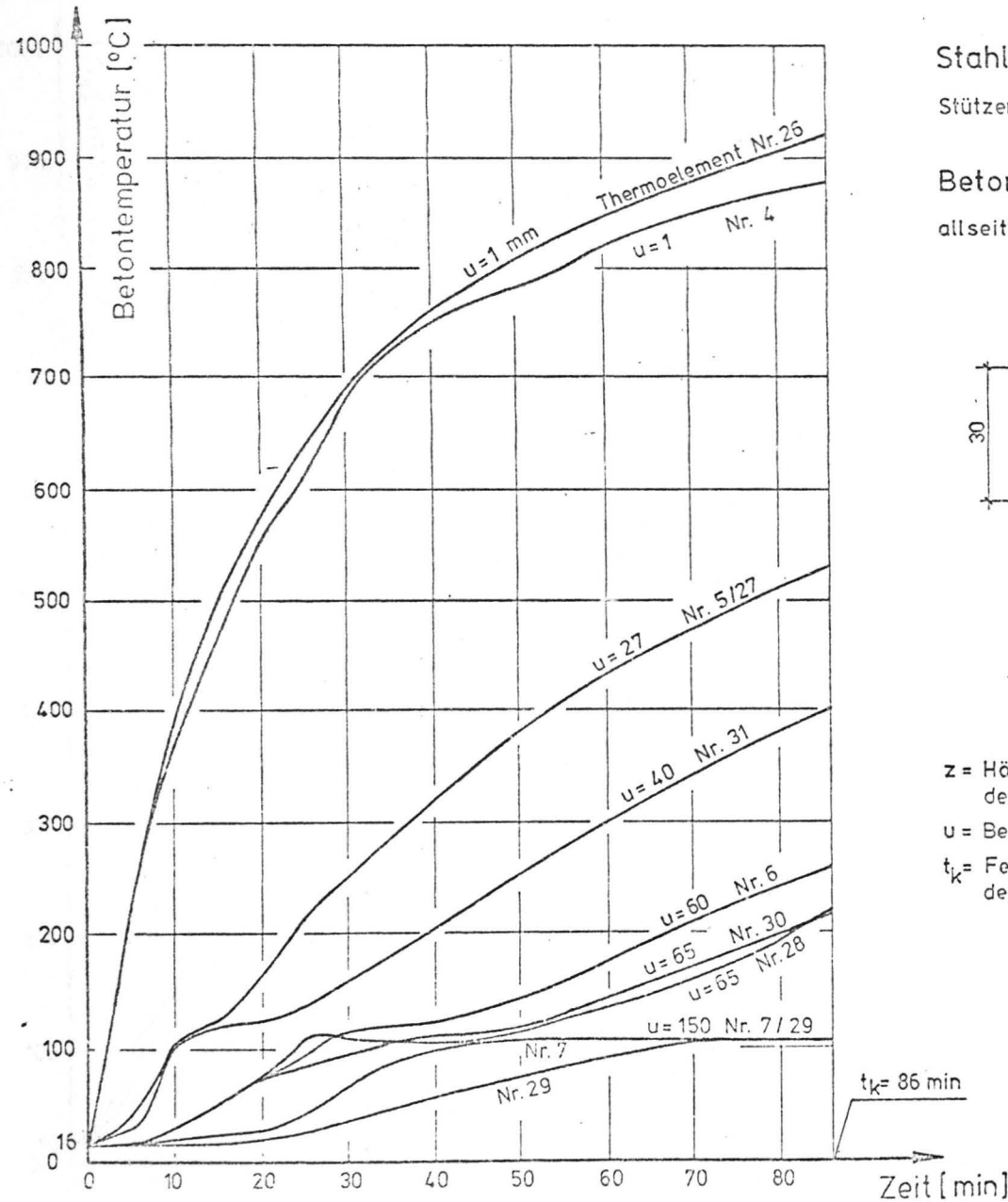
$z$  = Höhe der Meßstellen über O.K.F.  
des Brandraumes

$u$  = Betondeckung [mm]

$t_k$  = Feuerwiderstandsdauer [min]  
der Stütze

-57-



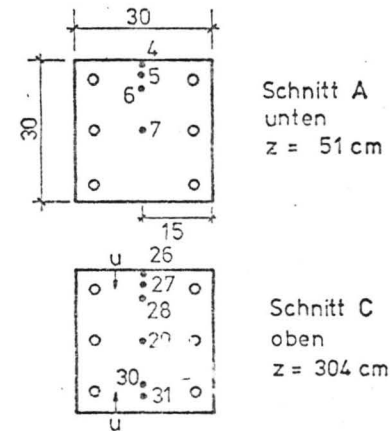


Stahlbetonstütze S75-1/1 Querschnitt  $30 \times 30 \text{ cm}$

Stützenlänge: 380 cm lichte Brandraumhöhe: 360 cm

Betontemperaturmessung (Temperatur-Zeit-Kurven)

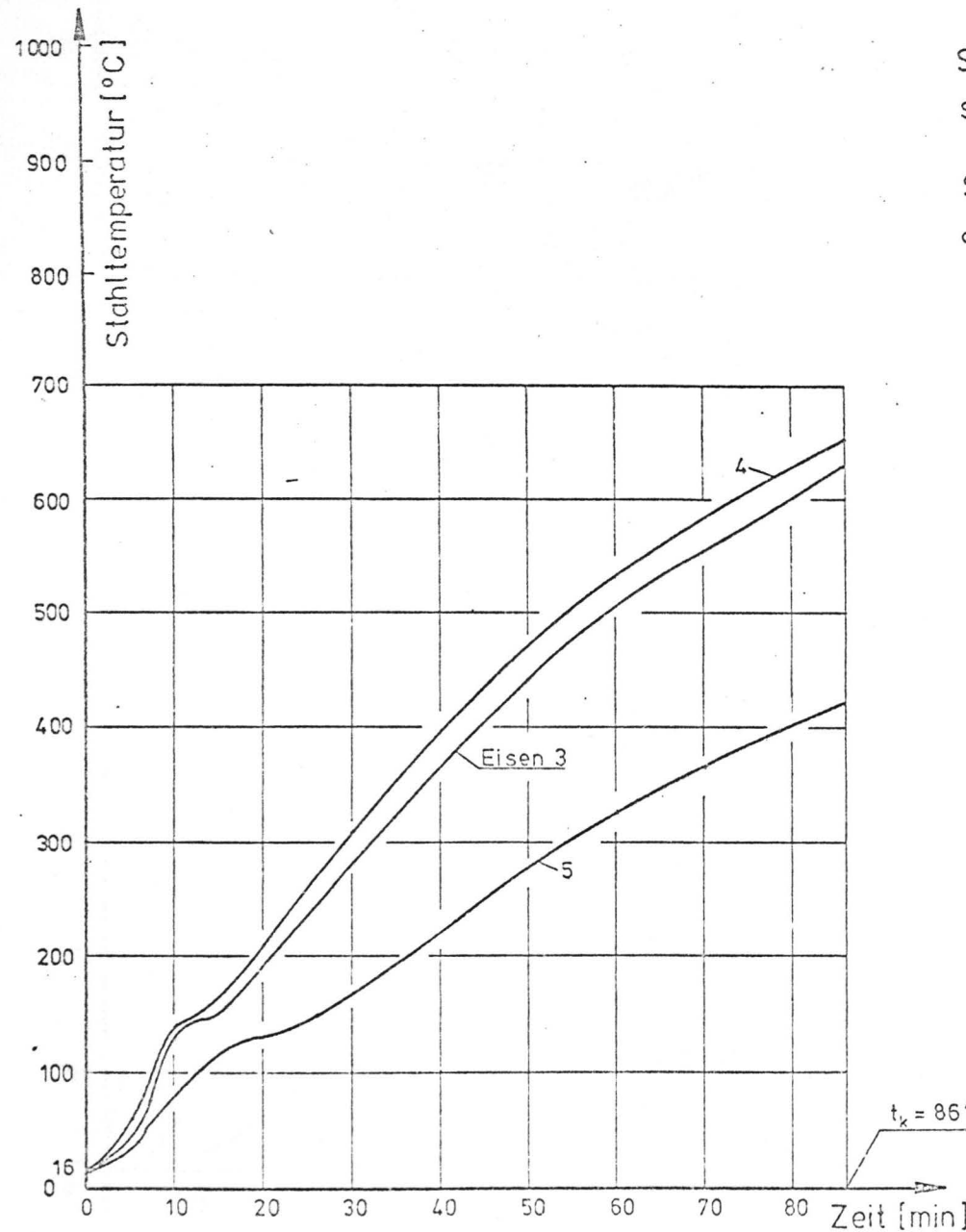
allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)



$z$  = Höhe der Meßstellen über O.K.F. des Brandraumes

$u$  = Betondeckung [mm]

$t_k$  = Feuerwiderstandsdauer [min] der Stütze

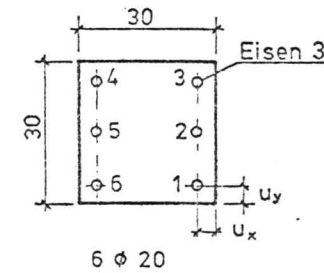


Stahlbetonstütze S75-1/1 Querschnitt 30×30 cm

Stützenlänge: 380 cm lichte Brandraumhöhe: 360 cm

Stahltemperaturmessung (Temperatur-Zeit-Kurven)

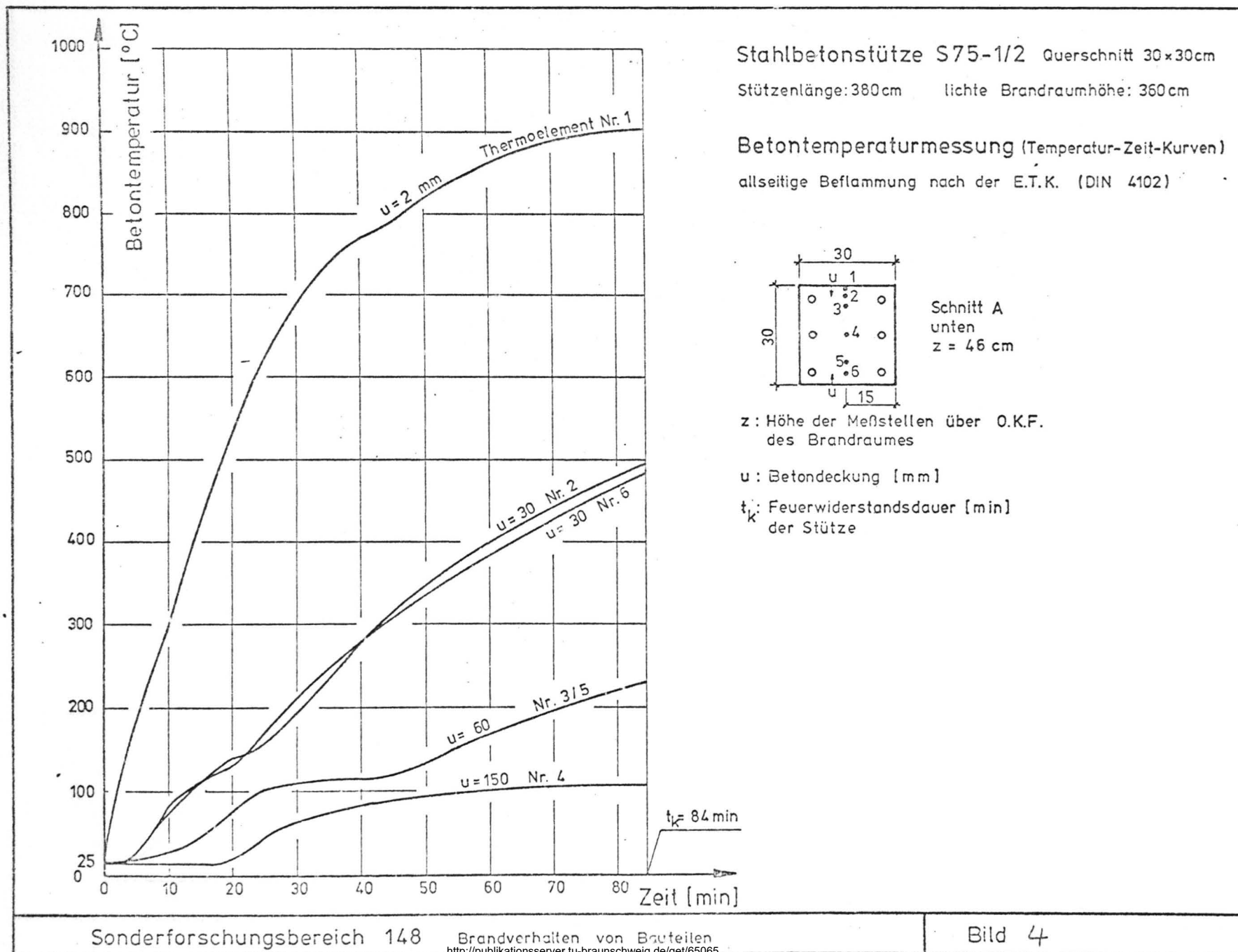
allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)

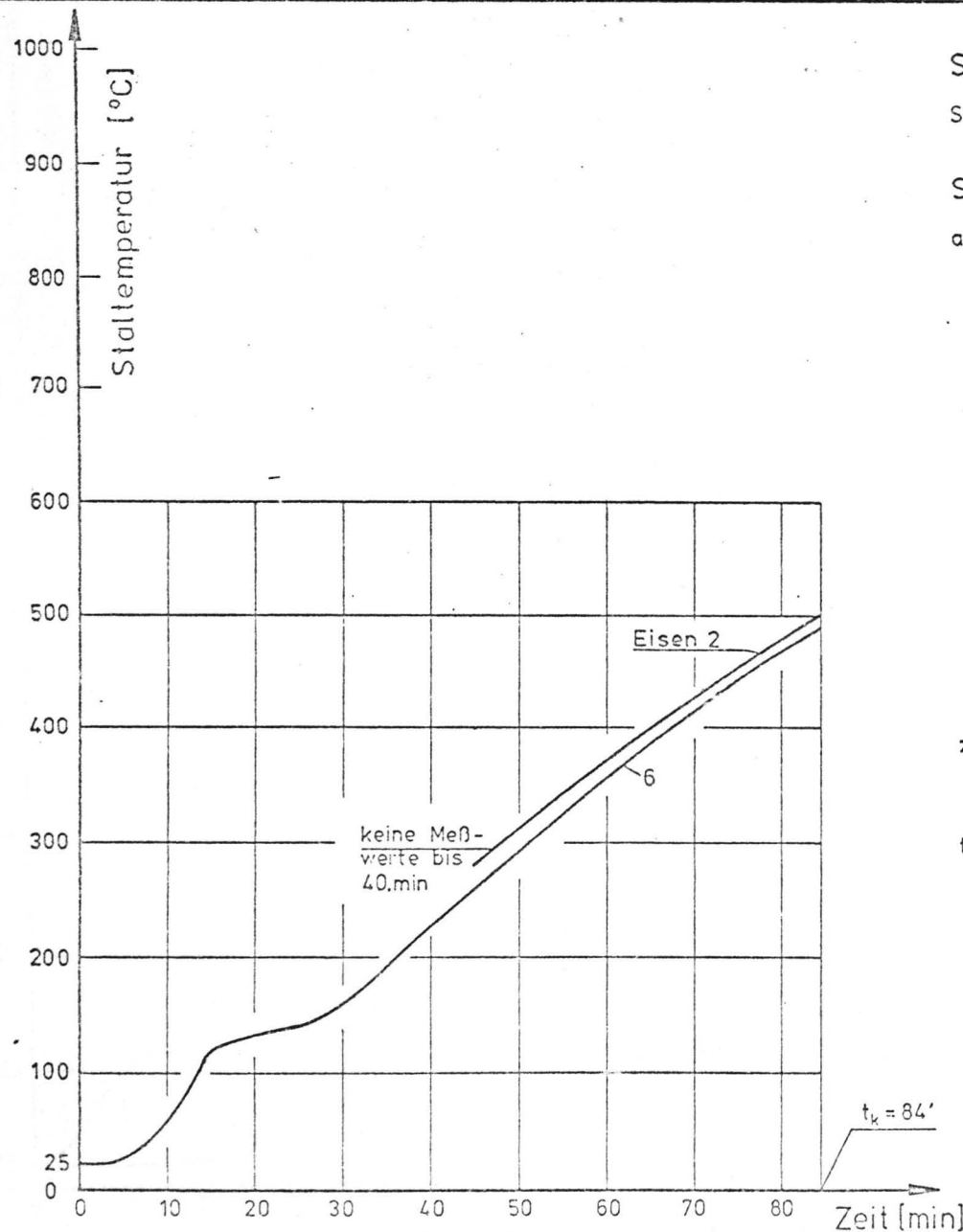


Eisen	z [cm]	Betondeckung $u_x$ [mm]   $u_y$ [mm]
3	51	40   40
4	304	40   40
5	182	40   -

z: Höhe der Meßstellen über O.K.F. des Brandraumes

$t_k$ : Feuerwiderstandsdauer [min] der Stütze



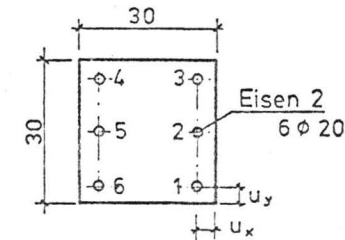


Stahlbetonstütze S75-1/2 Querschnitt 30×30cm

Stützenlänge: 380cm lichte Brandraumbhöhe: 360cm

Stahltemperaturmessung (Temperatur-Zeit-Kurven)

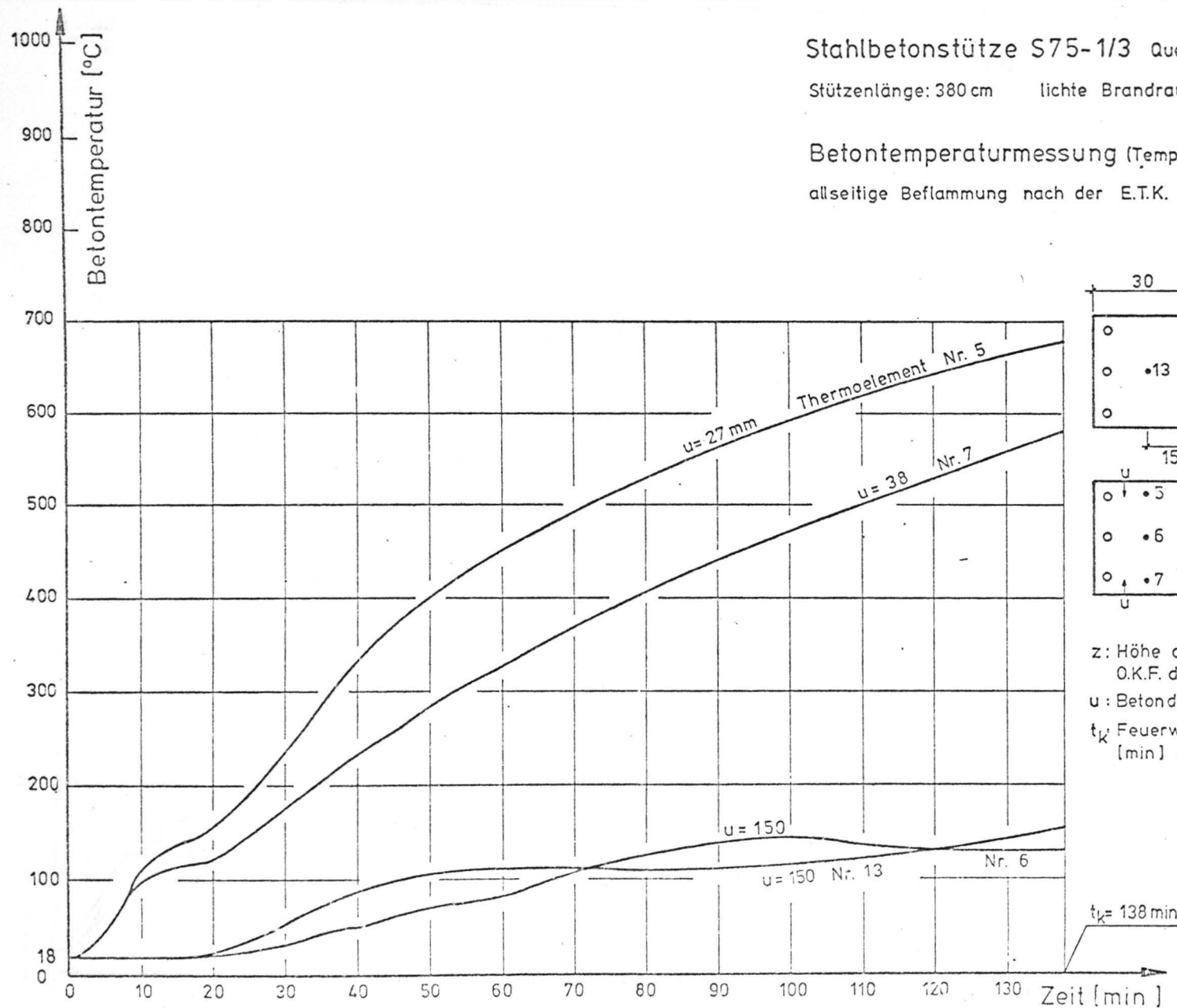
allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)



Eisen	z [cm]	Betondeckung $u_x$ [mm]   $u_y$ [mm]	
6	46	45	53
2	303	35	-

z: Höhe der Meßstellen über O.K.F. des Brandraumes

$t_k$ : Feuerwiderstandsdauer [min] der Stütze



-62-

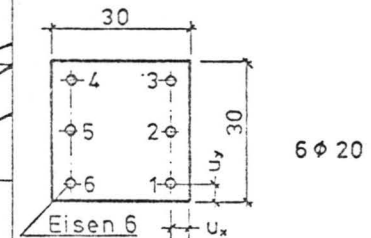
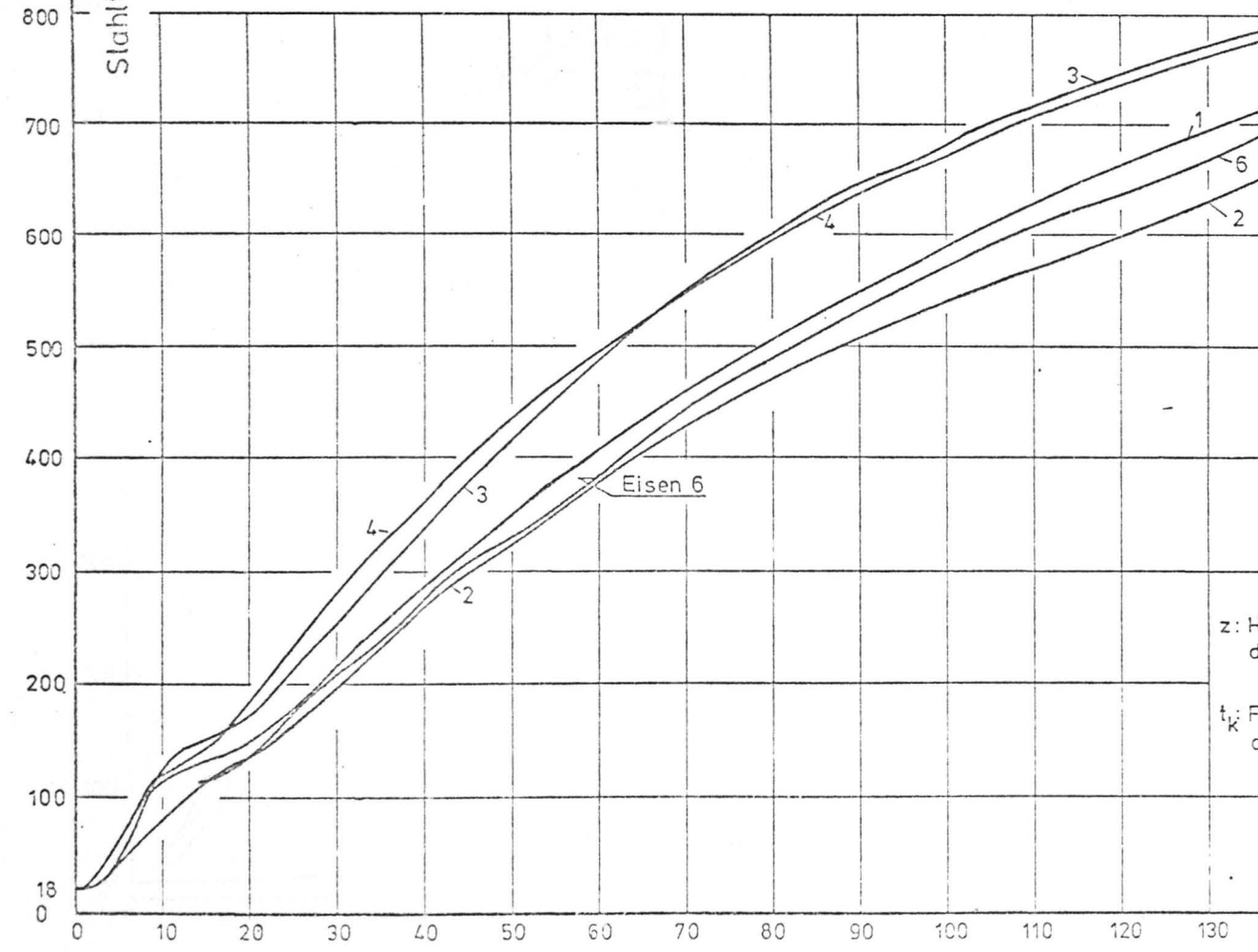
Stahltemperatur [°C]

Stahlbetonstütze S 75-1/3 Querschnitt 30×30 cm

Stützenlänge: 360 cm lichte Brandraumhöhe: 360 cm

Stahltemperaturmessung (Temperatur-Zeit-Kurven)

allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)



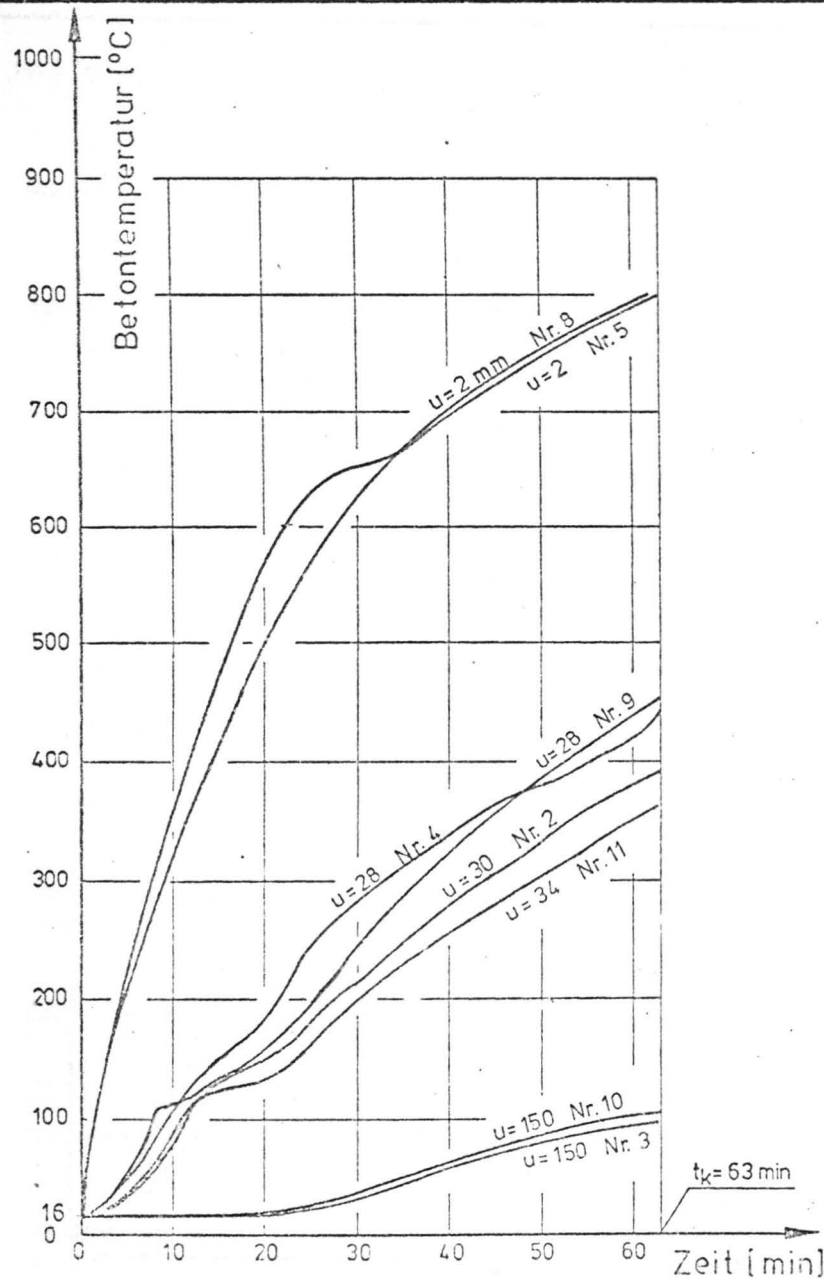
Eisen	z [cm]	Betondeckung u <sub>x</sub> [mm]   u <sub>y</sub> [mm]	
3	46	42	40
6	46	50	50
2	182	35	—
4	301	45	40
1	301	40	55

z: Höhe der Meßstellen über O.K.F. des Brandraumes

t<sub>k</sub>: Feuerwiderstandsdauer [min] der Stütze

t<sub>k</sub> = 138'

1631



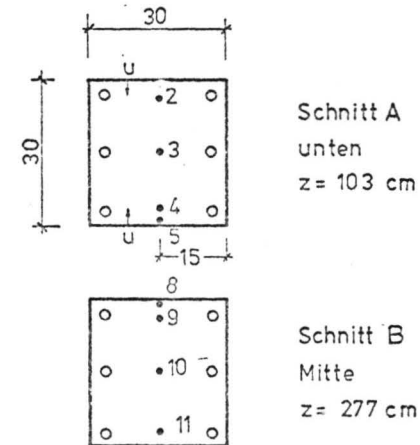
Stahlbetonstütze S 75-2/1 Querschnitt 30x30 cm

Stützenlänge: 480 cm

lichte Brandraumhöhe: 460 cm

Betontemperaturmessung (Temperatur-Zeit-Kurve)

allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)



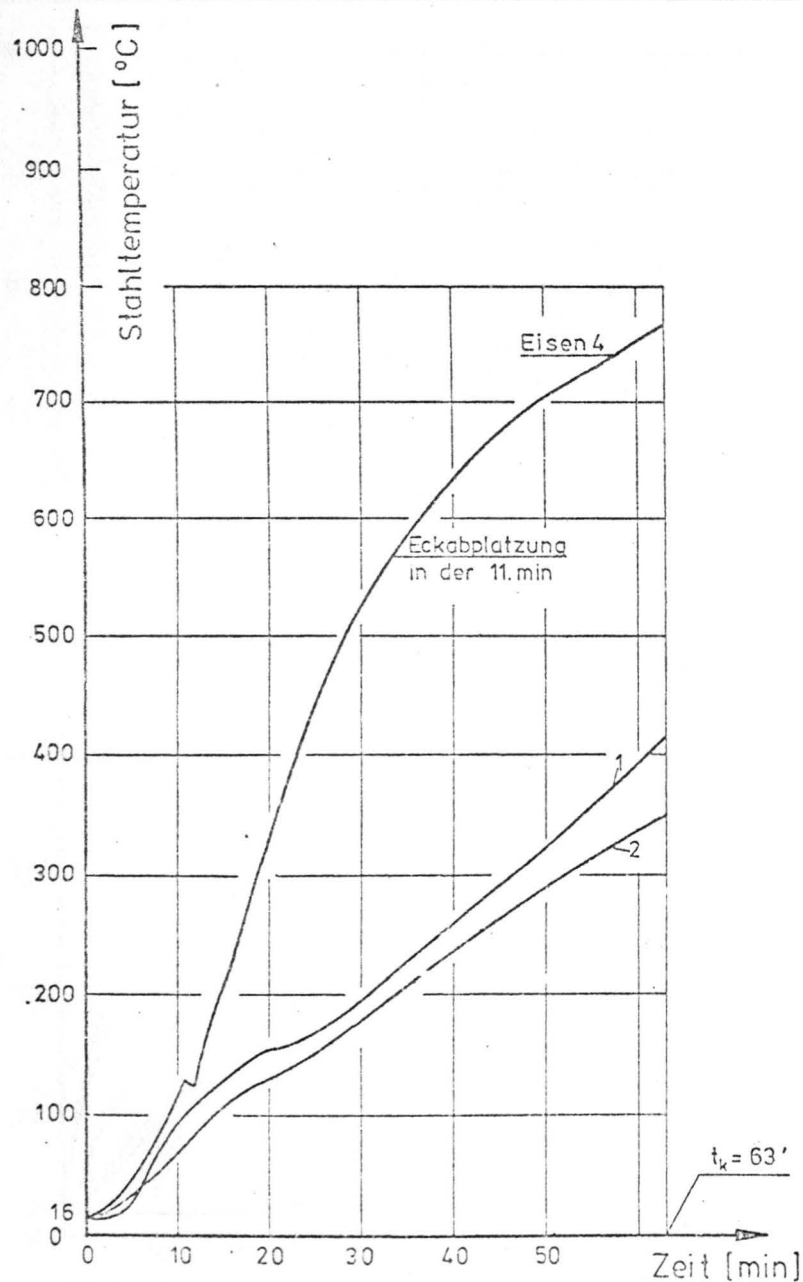
z = Höhe der Meßstelle über O.K.F.  
des Brandraumes

u = Betondeckung [mm]

$t_k$  = Feuerwiderstandsdauer [min]  
der Stütze

-64-



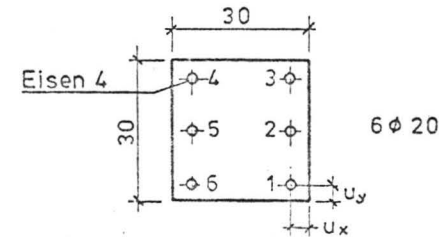


Stahlbetonstütze S75-2/1 Querschnitt 30×30 cm

Stützenlänge: 480 cm lichte Brandraumhöhe: 460 cm

Stahltemperaturmessung (Temperatur-Zeit-Kurven)

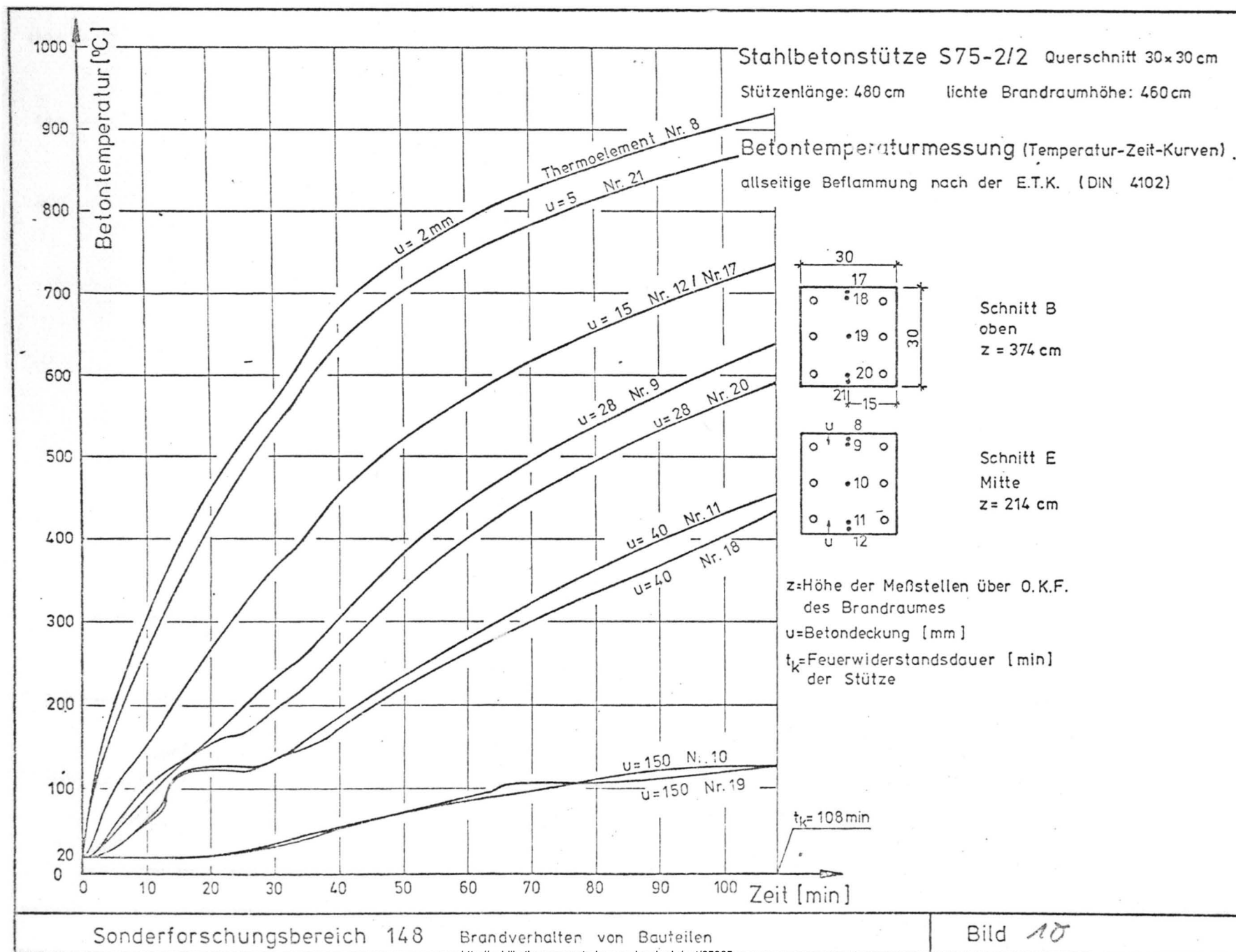
allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)



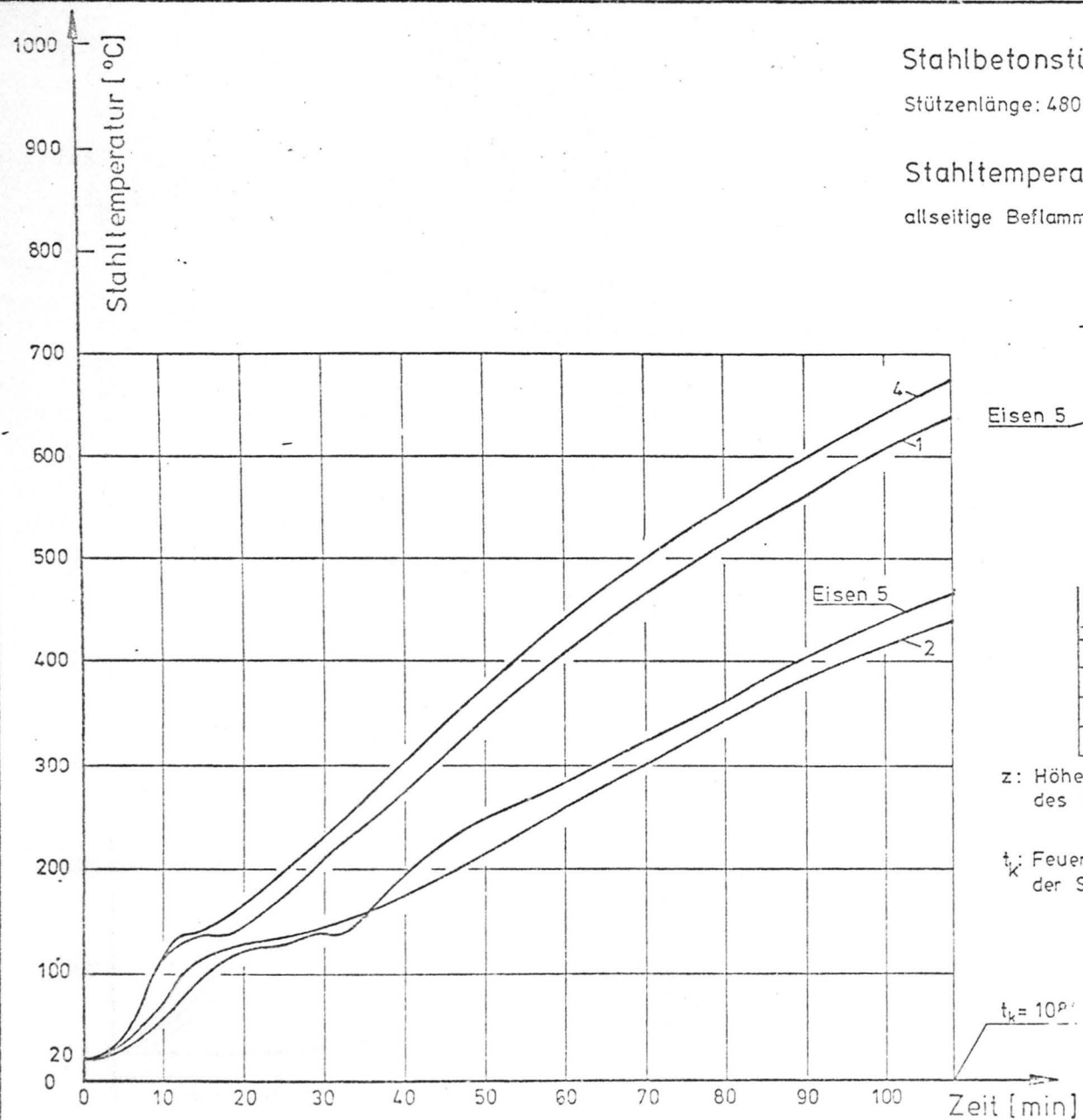
Eisen	z [cm]	Betondeckung $u_x$ [mm]   $u_y$ [mm]
1	103	40   52
2	277	40   —
4	346	47   36

z: Höhe der Meßstellen über O.K.F.  
des Brandraumes

$t_k$ : Feuerwiderstandsdauer [min]  
der Stütze



-66-

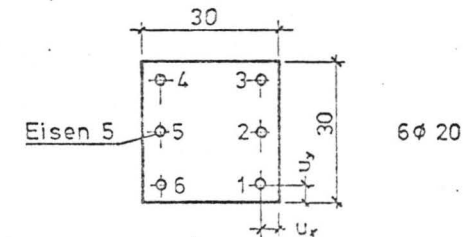


Stahlbetonstütze S75-2/2 Querschnitt 30x30 cm

Stützenlänge: 480 cm lichte Brandraumhöhe: 460 cm

Stahltemperaturmessung (Temperatur-Zeit-Kurven)

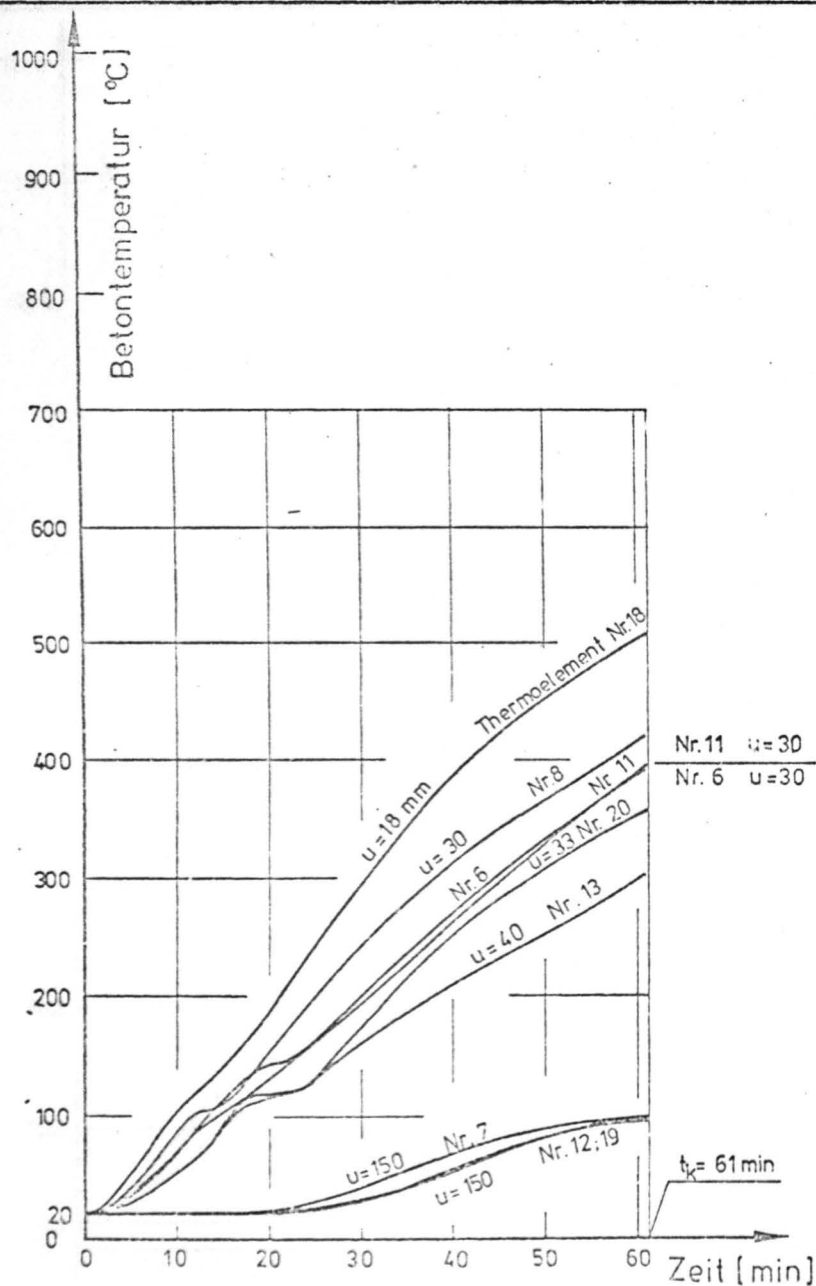
allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)



Eisen	z [cm]	Betondeckung $u_x$ [mm]   $u_y$ [mm]
1	114 unten	40   54
5	231	37   —
2	231	42   —
4	364 oben	43   40

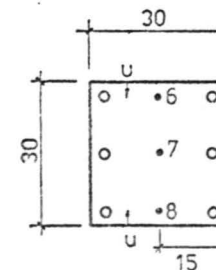
z: Höhe der Meßstellen über O.K.F. des Brandraumes

$t_k$ : Feuerwiderstandsdauer [min] der Stütze

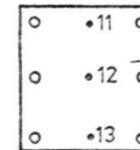


Stahlbetonstütze S 75 -3/1 Querschnitt 30x30 cm  
 Stützenlänge: 580 cm lichte Brandraumhöhe: 560 cm

Betontemperaturmessung (Temperatur-Zeit-Kurven)  
 allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)



Schnitt B  
 unten  
 $z = 186 \text{ cm}$



Schnitt C  
 Mitte  
 $z = 283 \text{ cm}$

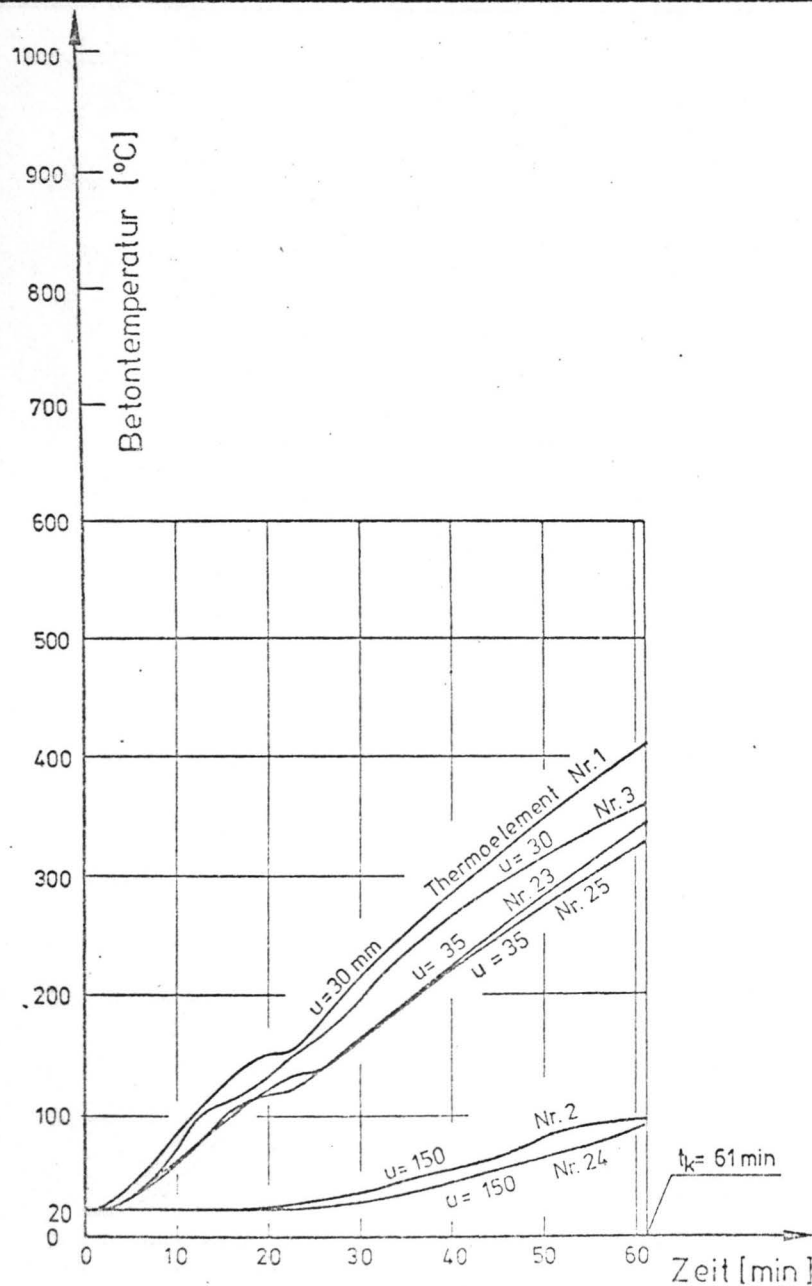


Schnitt D  
 oben  
 $z = 380 \text{ cm}$

$z$  = Höhe der Meßstellen über O.K.F.  
 des Brandraumes

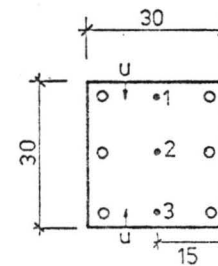
$u$  = Betondeckung [mm]

$t_k$  = Feuerwiderlandsdauer [min]  
 der Stütze

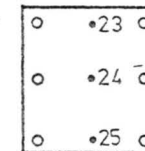


Stahlbetonstütze S 75-3/1 Querschnitt 30x30 cm  
 Stützenlänge: 580 cm lichte Brandraumhöhe: 560 cm

Betontemperaturmessung (Temperatur-Zeit-Kurven)  
 allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)



Schnitt A  
 unten  
 $z = 88 \text{ cm}$



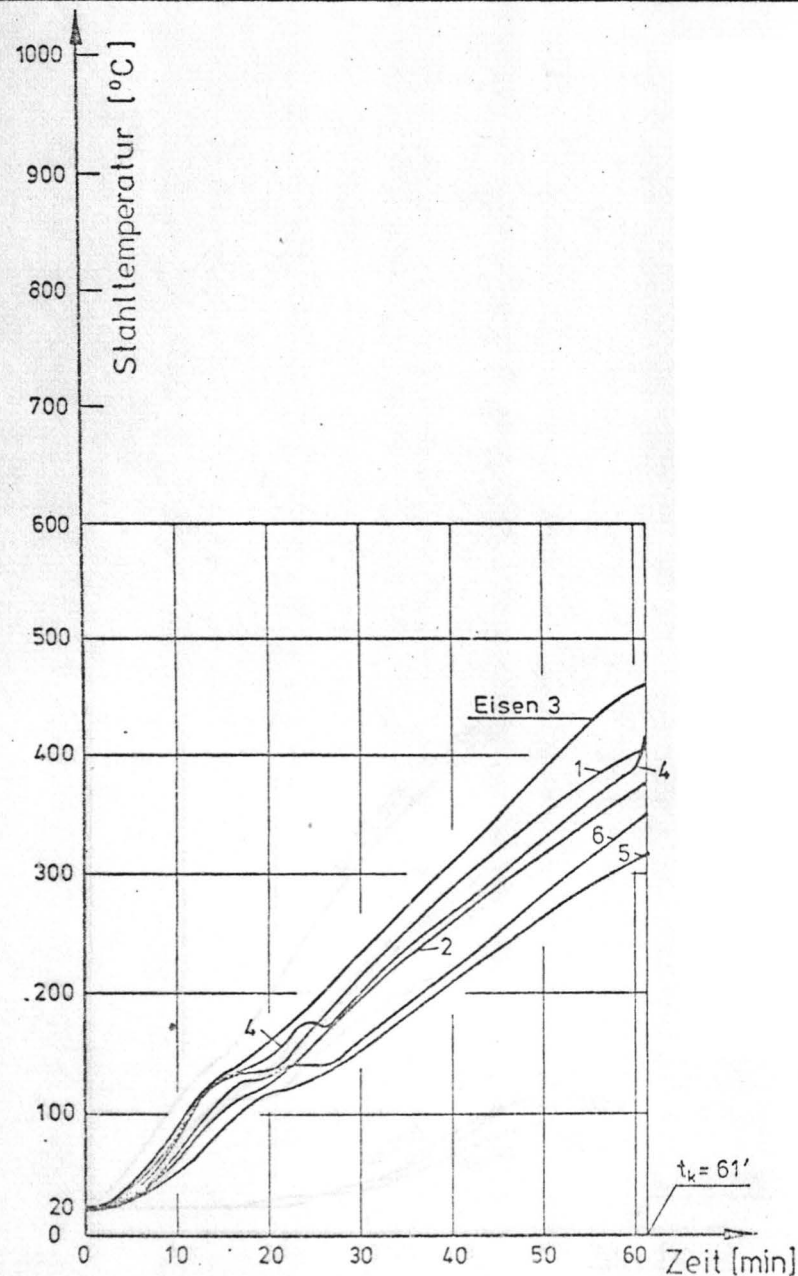
Schnitt E  
 oben  
 $z = 476 \text{ cm}$

$z$  = Höhe der Meßstellen über O.K.F. des Brandraumes

$u$  = Betondeckung [mm]

$t_k$  = Feuerwiderstandsdauer [min] der Stütze

-69-

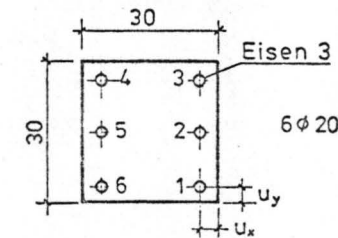


Stahlbetonstütze S75-3/1 Querschnitt 30×30 cm

Stützenlänge: 580 cm lichte Brandraumhöhe: 560 cm

Stahltemperaturmessung (Temperatur-Zeit-Kurven)

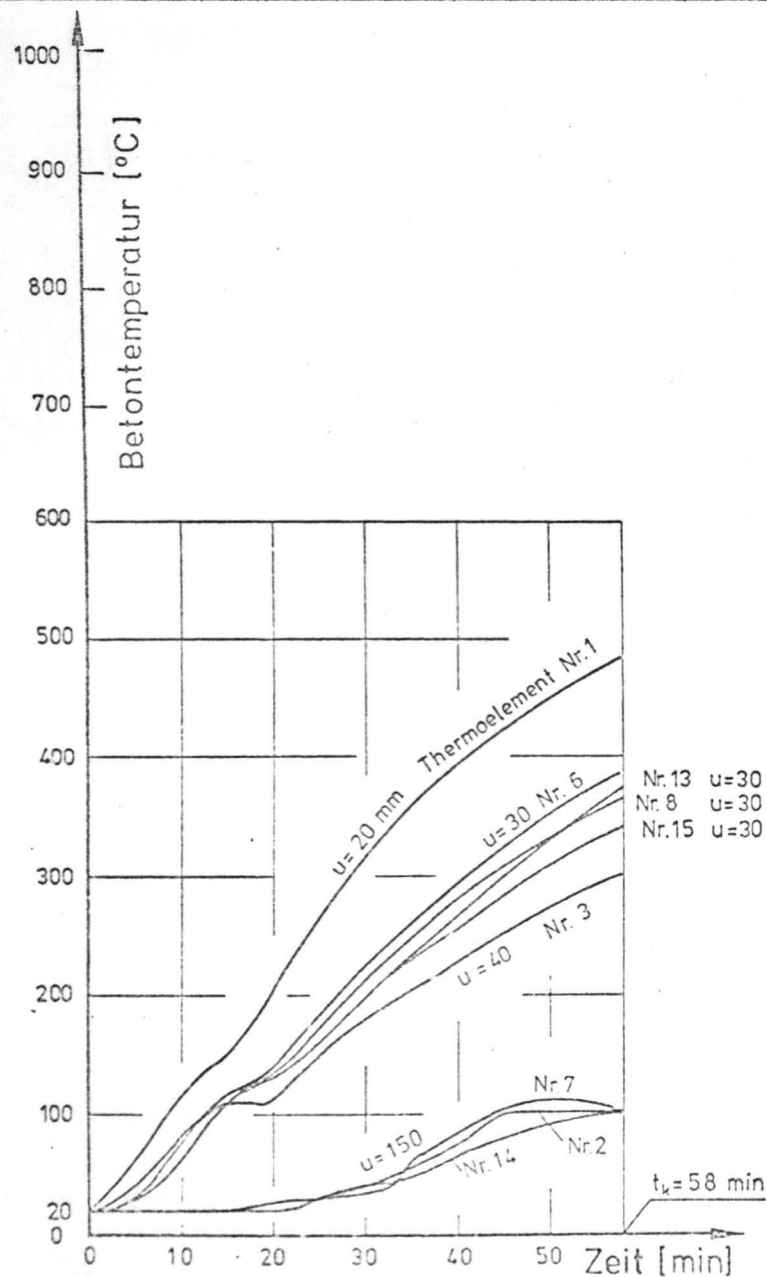
allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)



Eisen	z [cm]	Betondeckung u <sub>x</sub> [mm]   u <sub>y</sub> [mm]	
1	88	42	51
4	186	49	36
2	283	35	-
5	283	40	-
6	380	42	55
3	476	42	40

z : Höhe der Meßstellen über O.K.F.  
des Brandraumes

t<sub>k</sub> : Feuerwiderstandsdauer [min]  
der Stütze



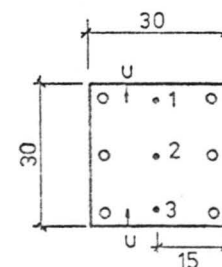
Stahlbetonstütze S 75 - 3/2 Querschnitt 30x30 cm

Stützenlänge: 580 cm

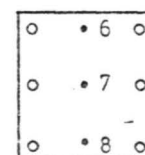
lichte Brandraumhöhe: 560 cm

Betontemperaturmessung (Temperatur-Zeit-Kurven)

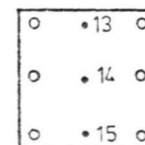
allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)



Schnitt A  
unten  
z = 94 cm



Schnitt B  
Mitte  
z = 286 cm



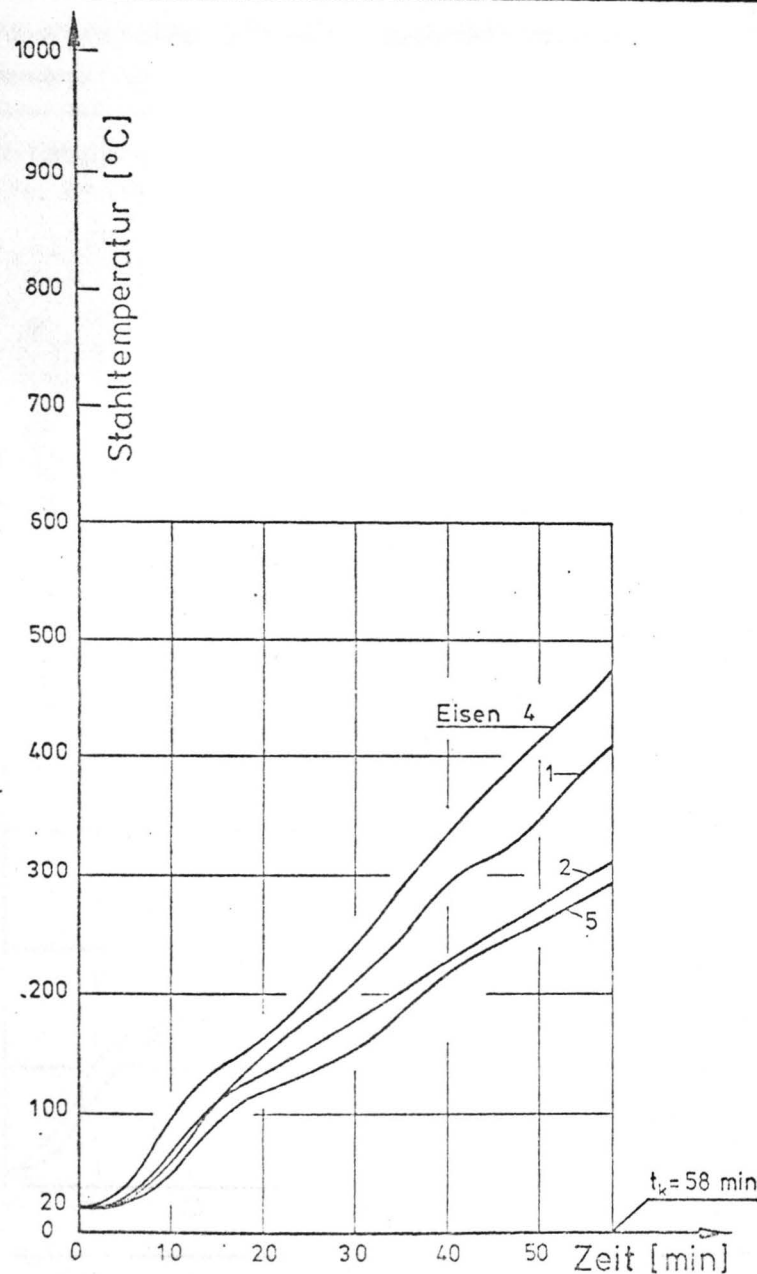
Schnitt C  
oben  
z = 467 cm

z = Höhe der Meßstellen über O.K.F.  
des Brandraumes

u = Betondeckung [mm]

$t_k$  = Feuerwiderstandsdauer [min]  
der Stütze



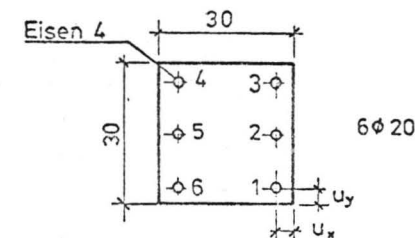


Stahlbetonstütze S75-3/2 Querschnitt 30×30 cm

Stützenlänge: 580 cm lichte Brandraumhöhe: 560 cm

Stahltemperaturmessung (Temperatur-Zeit-Kurven)

allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)



Eisen	z [cm]	Betondeckung u <sub>x</sub> [mm]   u <sub>y</sub> [mm]
1	94	47   46
2	208	40   —
5	286	42   —
4	467	47   30

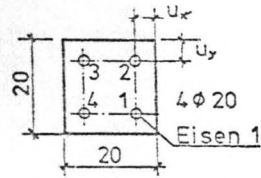
z : Höhe der Meßstellen über O.K.F.  
des Brandraumes

t<sub>k</sub> : Feuerwiderstandsdauer [min]  
der Stütze

Stahlbetonstütze S75-4/1 Querschnitt 20x20 cm  
Stützenlänge: 380 cm lichte Brandraumhöhe: 360 cm

### Stahltemperaturmessung (Temperatur-Zeit-Kurven)

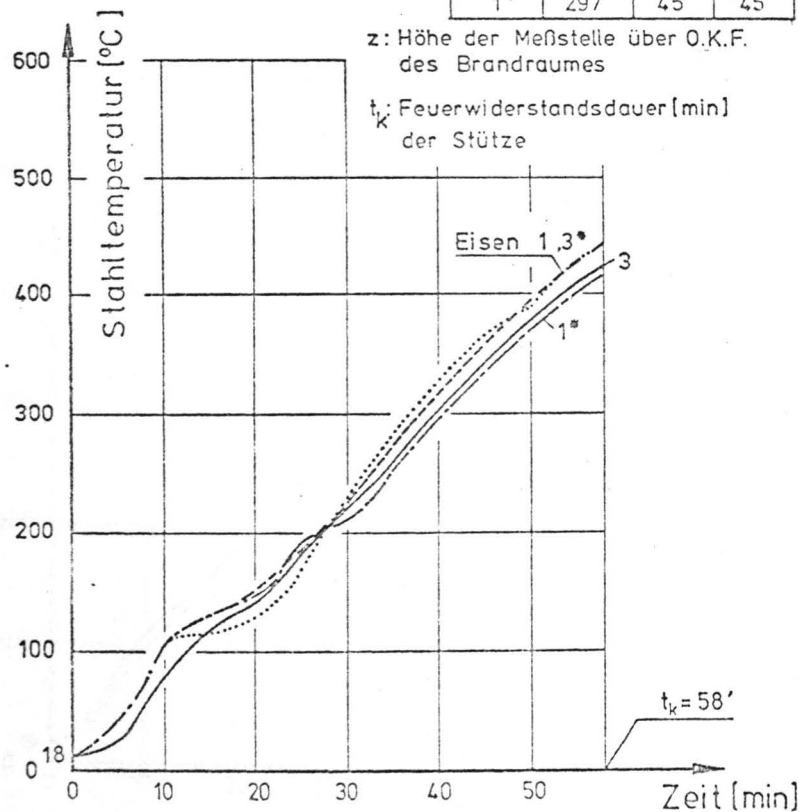
allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)



Eisen	z [cm]	Betondeckung $u_x$ [mm]   $u_y$ [mm]
3	85	47   35
1	191	45   40
3*	191	47   35
1*	297	45   45

z: Höhe der Meßstelle über O.K.F. des Brandraumes

$t_k$ : Feuerwiderstandsdauer [min] der Stütze



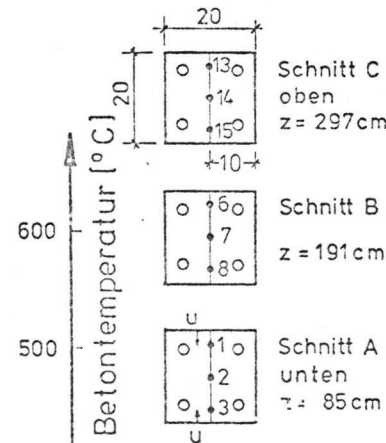
Sonderforschungsbereich 148  
Brandverhalten von Bauteilen

Bild 17

Stahlbetonstütze S75-4/1 Querschnitt 20x20 cm  
Stützenlänge: 380 cm lichte Brandraumhöhe: 360 cm

### Betontemperaturmessung (Temperatur-Zeit-Kurven)

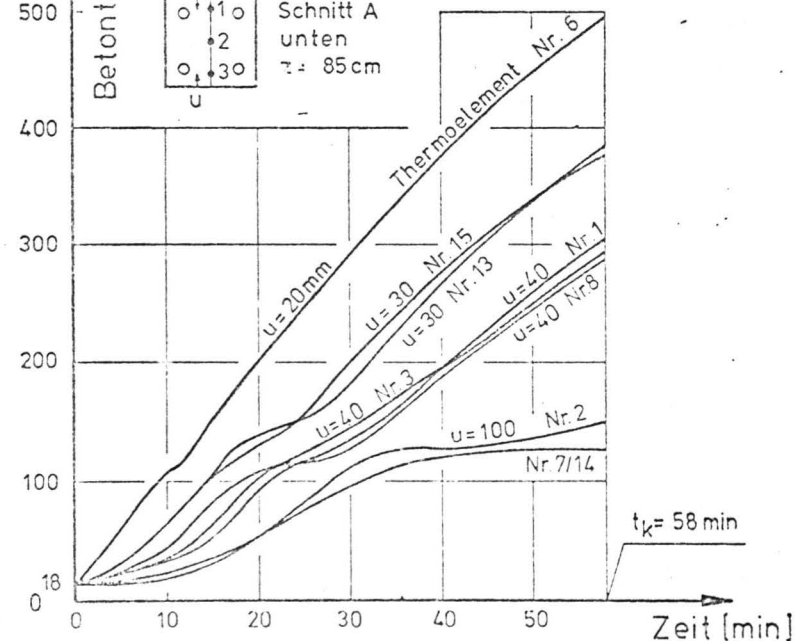
allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)



$t_k$ : Feuerwiderstandsdauer [min] der Stütze

z: Höhe der Meßstellen über O.K.F. des Brandraumes

u: Betondeckung [mm]



Sonderforschungsbereich 148  
Brandverhalten von Bauteilen

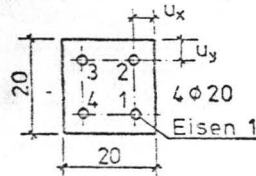
Bild 18

Stahlbetonstütze S75-4/2 Querschnitt 20x20 cm

Stützenlänge: 380cm lichte Brandraumhöhe: 360cm

### Stahltemperaturmessung (Temperatur-Zeit-Kurven)

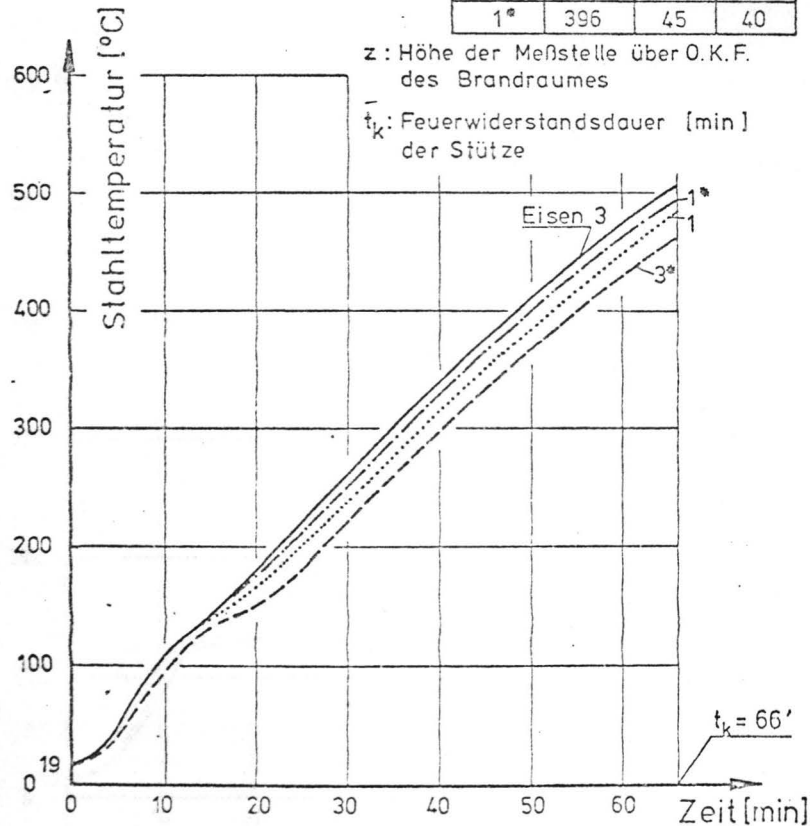
allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)



Eisen	z [cm]	Betondeckung $u_x$ [mm] $u_y$ [mm]
3	100	45 40
3°	196	45 40
1	196	40 45
1°	396	45 40

z: Höhe der Meßstelle über O.K.F. des Brandraumes

$t_k$ : Feuerwiderstandsdauer [min] der Stütze



Sonderforschungsbereich 148  
Brandverhalten von Bauteilen

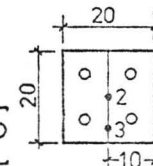
Bild 19

Stahlbetonstütze S75-4/2 Querschnitt 20x20 cm

Stützenlänge: 380cm lichte Brandraumhöhe: 360cm

### Betontemperaturmessung (Temperatur-Zeit-Kurven)

allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)



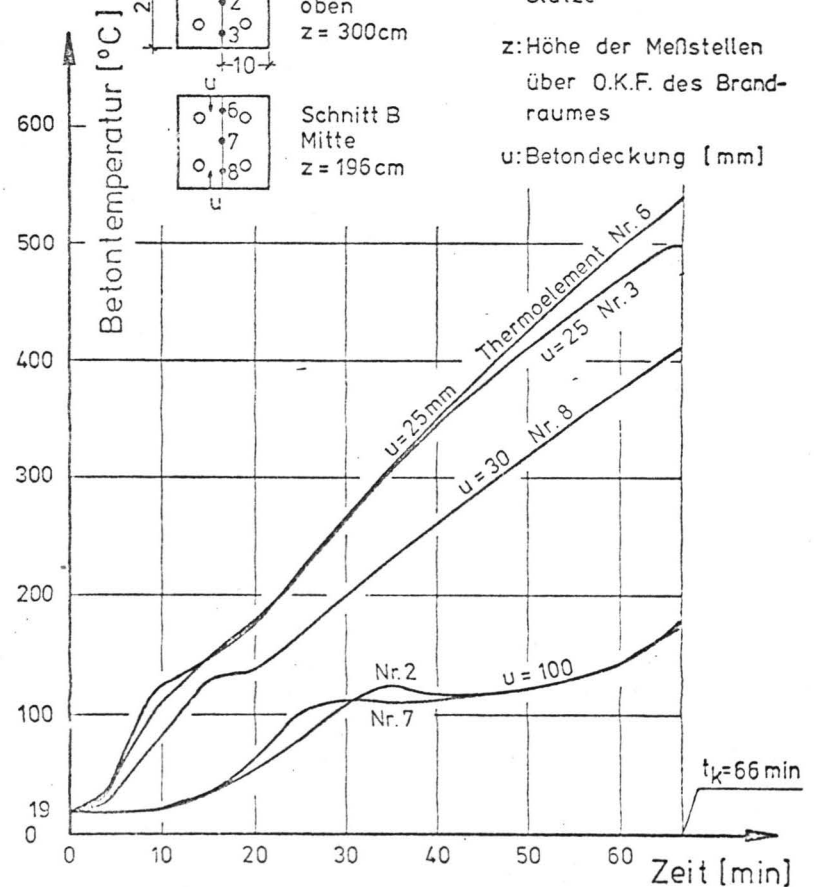
Schnitt C  
oben  
z = 300cm

Schnitt B  
Mitte  
z = 196cm

$t_k$ : Feuerwiderstands-  
dauer [min] der  
Stütze

z: Höhe der Meßstellen  
über O.K.F. des Brand-  
raumes

u: Betondeckung [mm]



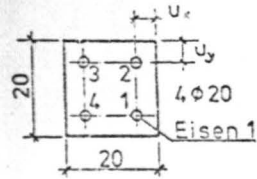
Sonderforschungsbereich 148  
Brandverhalten von Bauteilen

Bild 20

Stahlbetonstütze S75-5/2 Querschnitt 20×20cm  
Stützenlänge: 480cm lichte Brandraumhöhe: 460cm

### Stahltemperaturmessung (Temperatur-Zeit-Kurven)

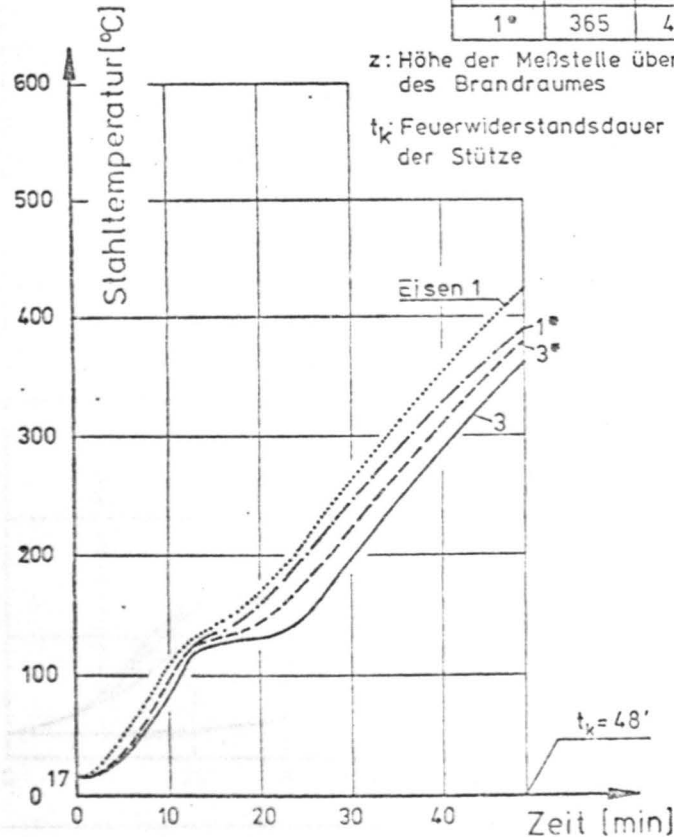
allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)



Eisen	z[cm]	Betondeckung u <sub>x</sub> [mm]   u <sub>y</sub> [mm]
3	87	40   45
3*	248	40   40
1	248	40   40
1*	365	40   45

z: Höhe der Meßstelle über O.K.F. des Brandraumes

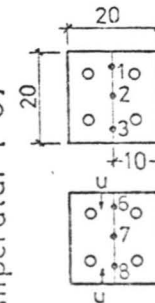
t<sub>k</sub>: Feuerwiderstandsdauer [min] der Stütze



Stahlbetonstütze S75-5/2 Querschnitt 20×20cm  
Stützenlänge: 480cm lichte Brandraumhöhe: 460cm

### Betontemperaturmessung (Temperatur-Zeit-Kurven)

allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)



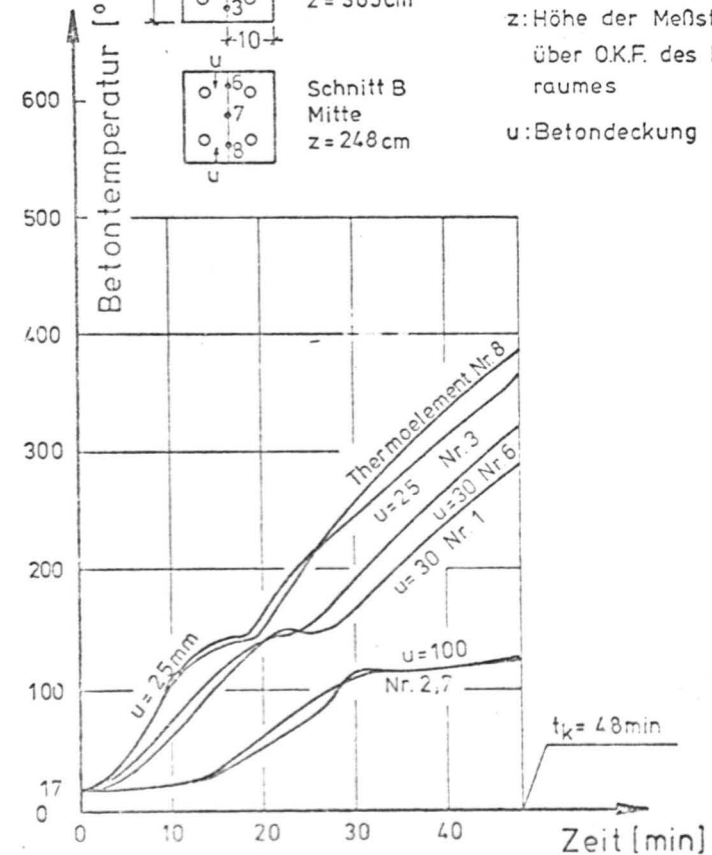
Schnitt C  
oben  
z = 365cm

Schnitt B  
Mitte  
z = 248cm

t<sub>k</sub>: Feuerwiderstands-  
dauer [min] der  
Stütze

z: Höhe der Meßstellen  
über O.K.F. des Brand-  
raumes

u: Betondeckung [mm]



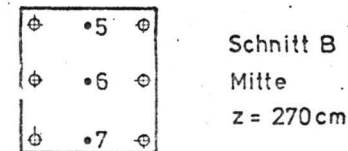
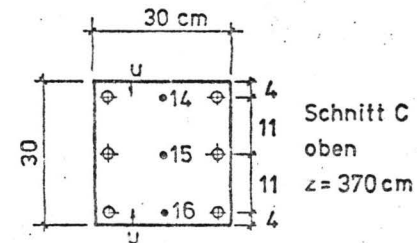
Stahlbetonstütze S 76 - 1/1 Querschnitt 30×30 cm

Stützenlänge: 480 cm

lichte Brandraumhöhe: 460 cm

Betontemperaturmessung (Temperatur-Zeit-Kurven)

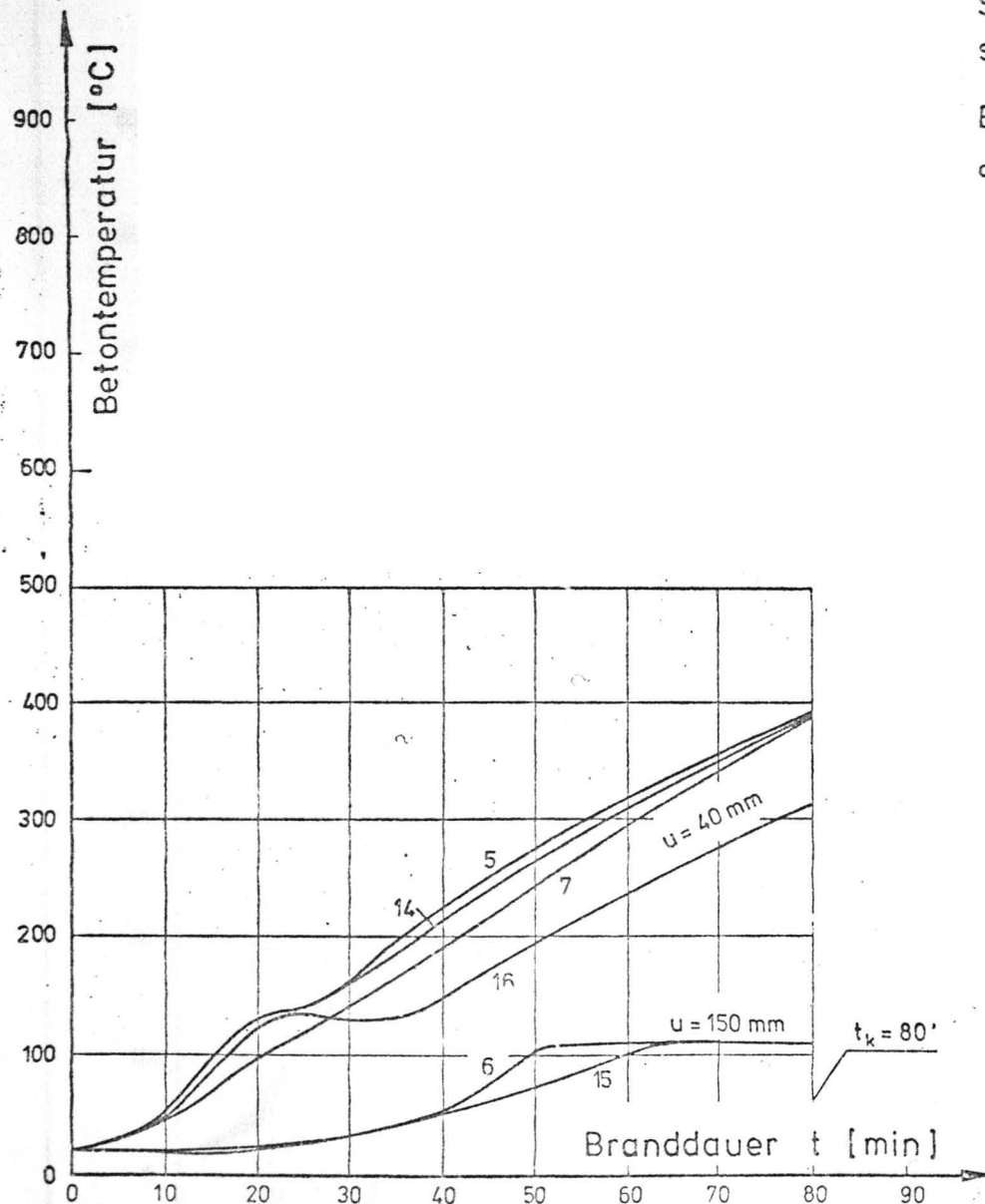
allseitige Beflammung nach der ETK (DIN 4102)



z = Höhe der Meßstellen über O.K.F.  
des Brandraumes

u = Betondeckung (mm)

$t_k$  = Feuerwiderstandsdauer (min)  
der Stütze

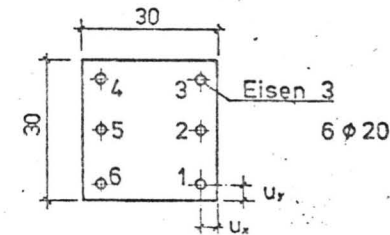
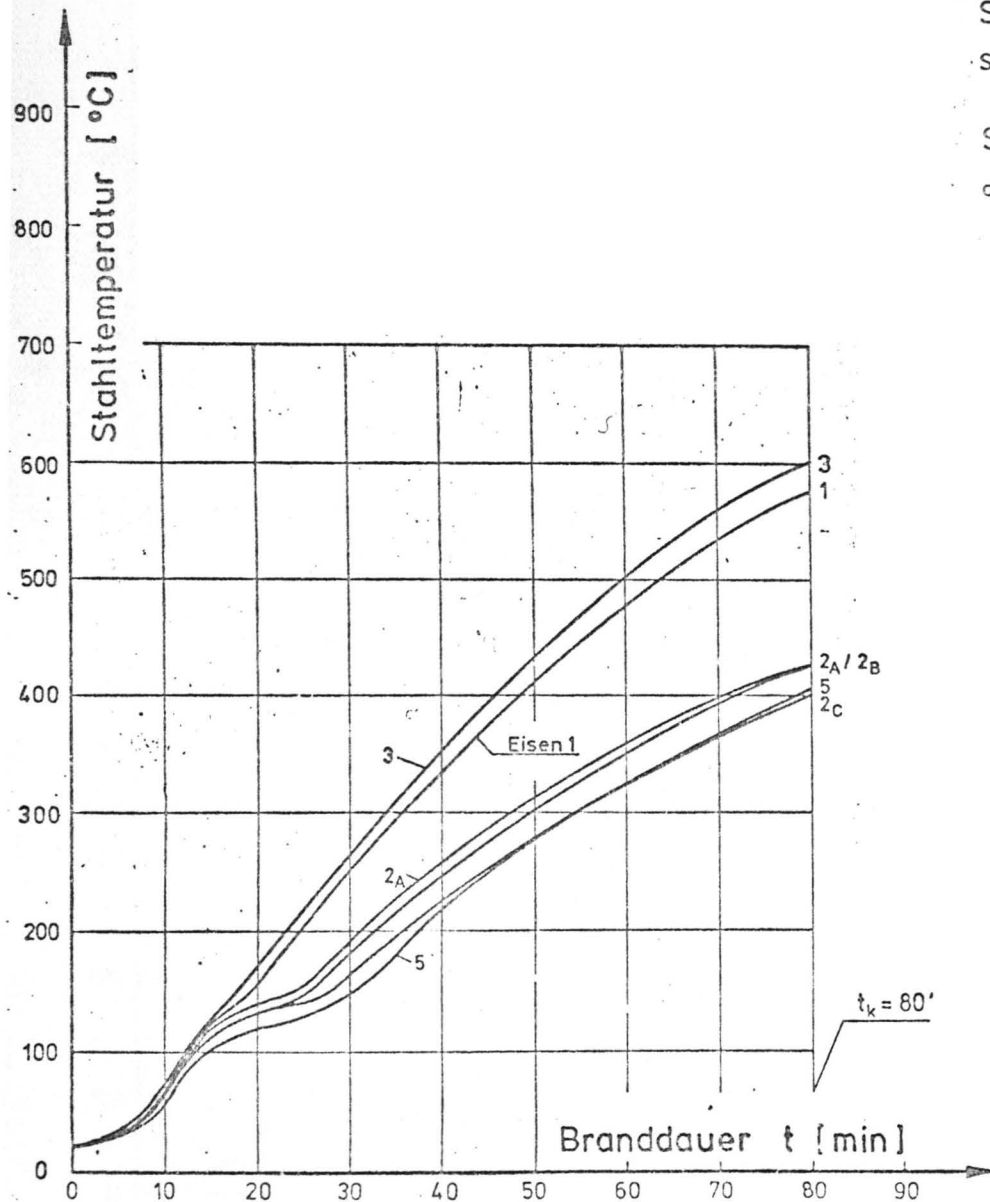


# Stahlbetonstütze S76-1/1 Querschnitt 30x30 cm

Stützenlänge: 480 cm lichte Brandraumhöhe: 460 cm

## Stahltemperaturmessung (Temperatur-Zeit-Kurven)

allseitige Beflammung nach der ETK (DIN 4102)



Eisen	z [cm]	Betondeckung u <sub>x</sub> [mm]   u <sub>y</sub> [mm]	
3	100	45	39
2 <sub>A</sub>	100	40	-
2 <sub>B</sub>	270	38	-
5	270	43	-
2 <sub>C</sub>	370	37	-
1	370	42	46

z : Höhe der Meßstellen über O.K.F. des Brandraumes

t<sub>k</sub> : Feuerwiderstandsdauer [min] der Stütze

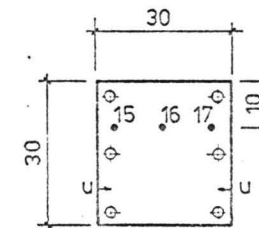
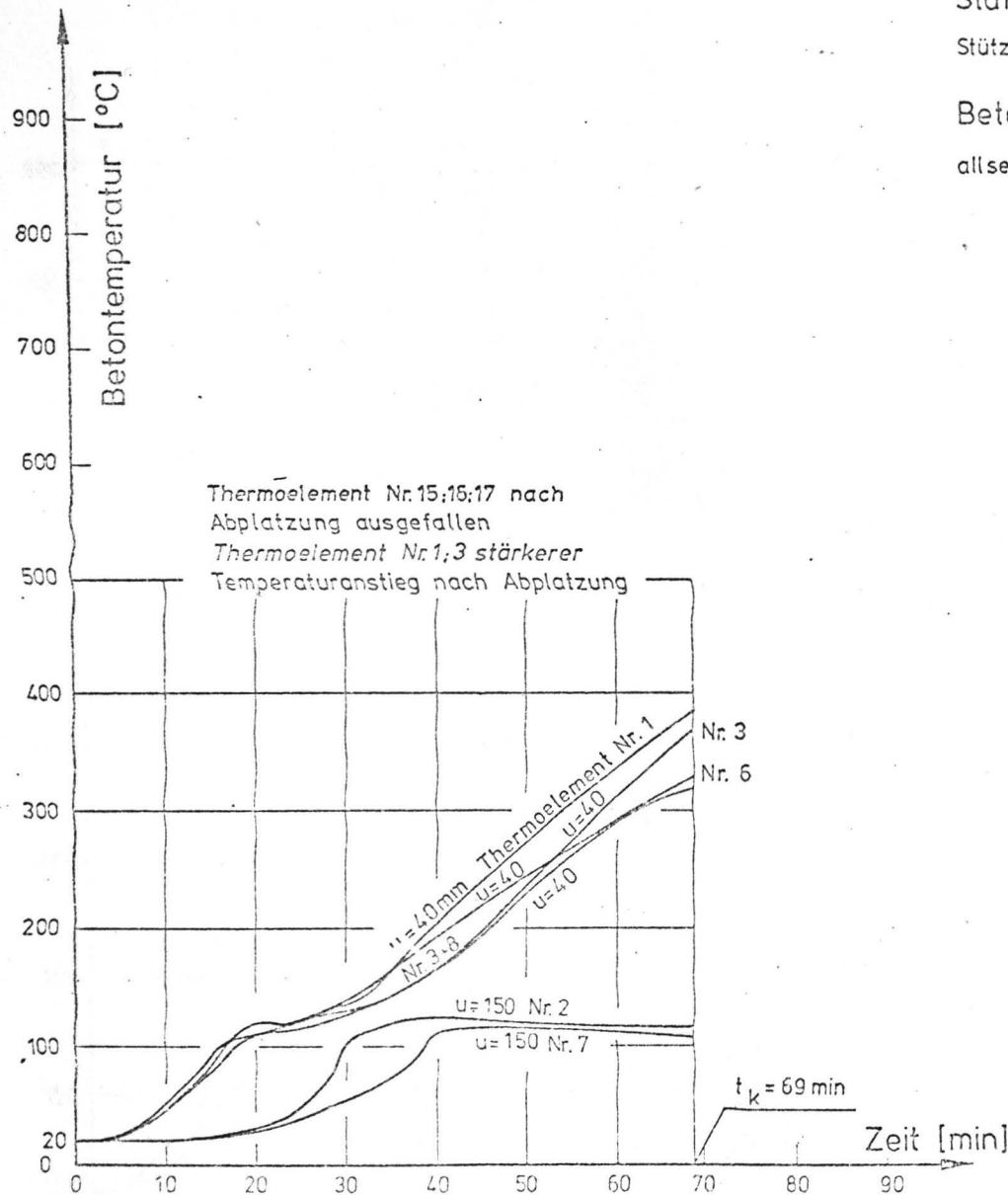
Stahlbetonstütze S 76 - 1/2 Querschnitt 30x30 cm

Stützenlänge: 480 cm

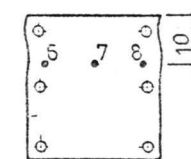
lichte Brandraumhöhe: 460 cm

Betontemperaturmessung (Temperatur-Zeit-Kurven)

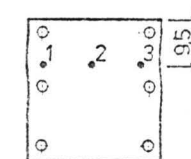
allseitige Befestigung nach der E.T.K. (DIN 4102)



Schnitt C  
oben  
z = 365 cm



Schnitt B  
Mitte  
z = 265 cm



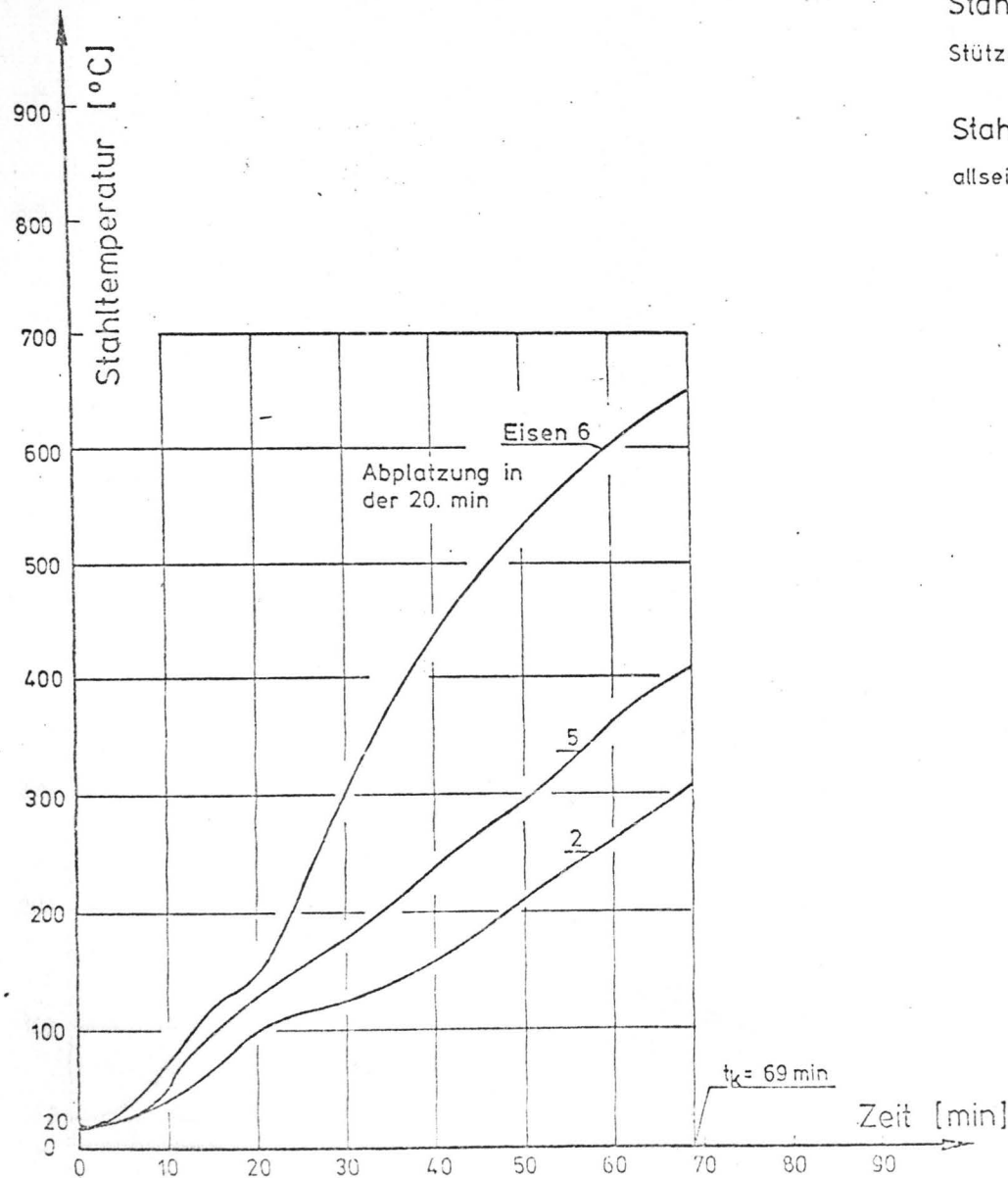
Schnitt A  
unten  
z = 95 cm

z = Höhe der Meßstellen über O.K.F. des Brandraumes

u = Betondeckung [mm]

$t_k$  = Feuerwiderstandsdauer [min] der Stütze



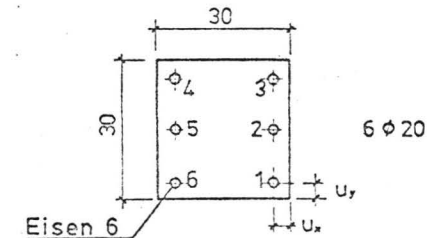


Stahlbetonstütze S76 - 1/2 Querschnitt 30×30 cm

Stützenlänge: 480 cm lichte Brandraumhöhe: 460 cm

Stahltemperaturmessung (Temperatur-Zeit-Kurven)

allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)



Eisen	z [cm]	Betondeckung $u_x$ [mm]   $u_y$ [mm]
6	95	45   45
2	265	44   —
5	365	36   —

z : Höhe der Meßstellen über O.K.F. des Brandraumes

$t_k$  : Feuerwiderstandsdauer [min] der Stütze

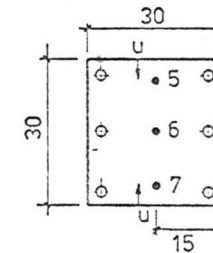
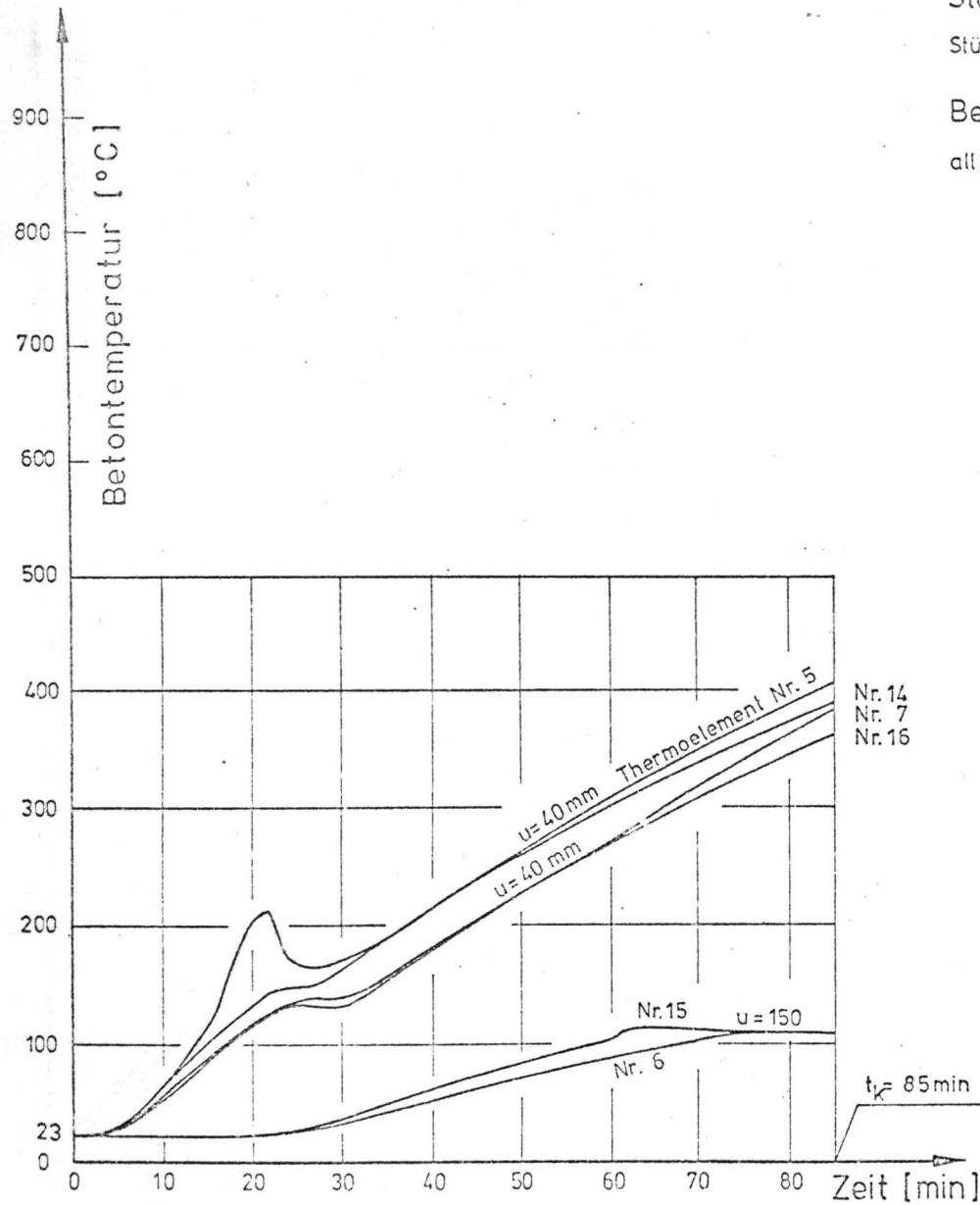
Stahlbetonstütze S 76 - 1/3 Querschnitt 30x30 cm

Stützenlänge: 480 cm

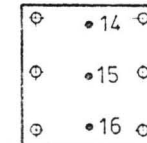
lichte Brandraumhöhe: 460 cm

Betontemperaturmessung (Temperatur-Zeit-Kurven)

allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)



Schnitt B  
Mitte  
 $z = 195 \text{ cm}$

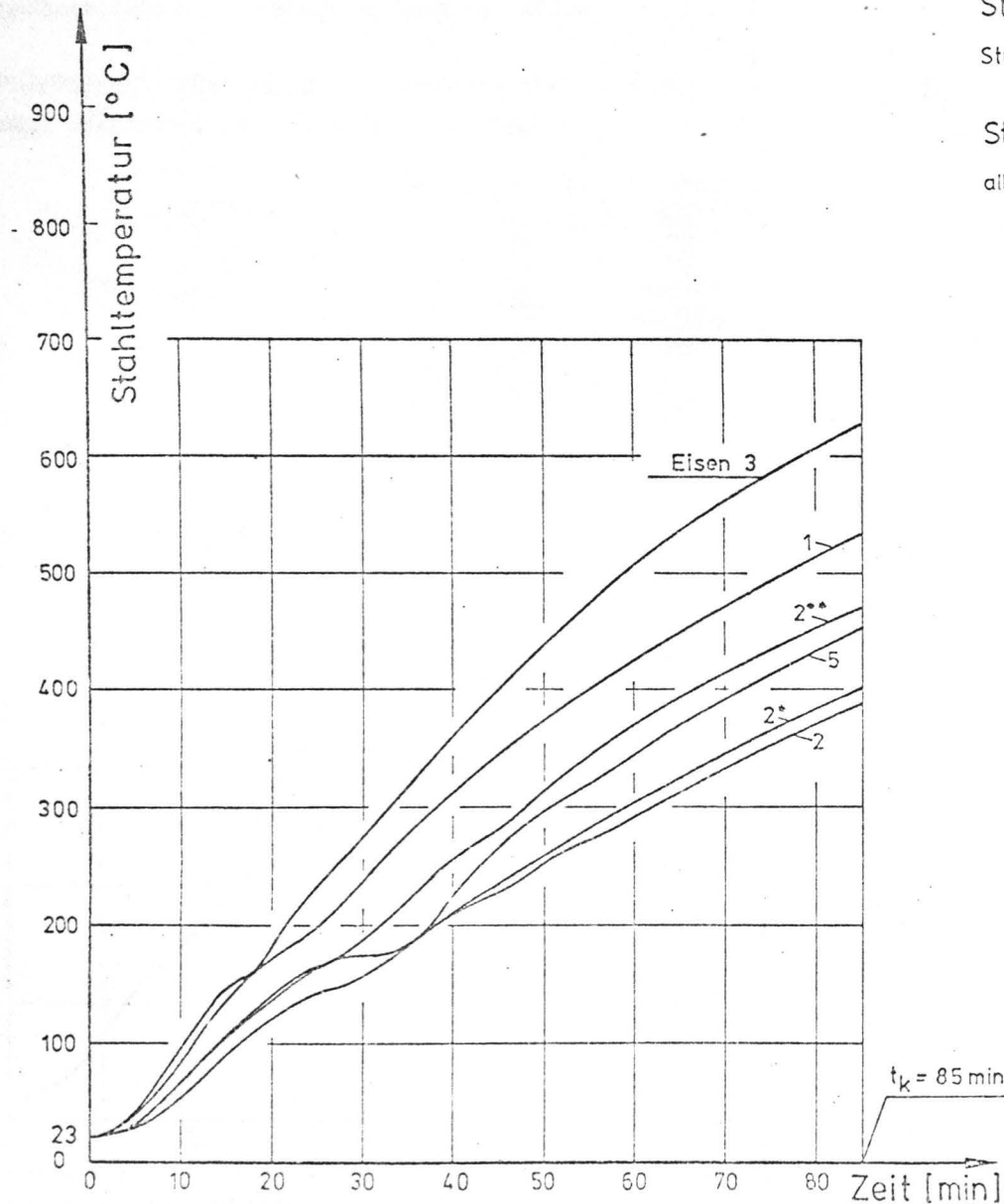


Schnitt A  
unten  
 $z = 95 \text{ cm}$

$z$  = Höhe der Meßstellen über O.K.F. des Brandraumes

$u$  = Betondeckung [mm]

$t_k$  = Feuerwiderstandsdauer [min] der Stütze

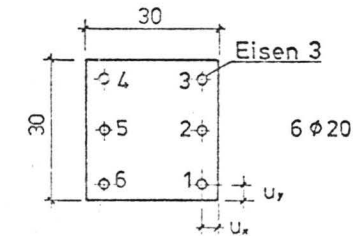


Stahlbetonstütze S76 - 1/3 Querschnitt 30×30 cm

Stützenlänge: 480 cm lichte Brandraumhöhe: 450 cm

Stahltemperaturmessung (Temperatur-Zeit-Kurven)

allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)



Eisen	z [cm]	Betondeckung $u_x$ [mm]   $u_y$ [mm]
1	95	47   47
2	95	43   -
2*	195	43   -
2**	365	38   -
3	365	42   42
5	195	37   -

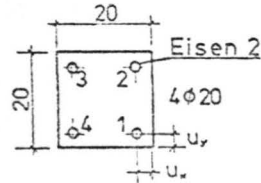
z : Höhe der Meßstellen über O.K.F.  
des Brandraumes

$t_k$  : Feuerwiderstandsdauer [min]  
der Stütze

Stahlbetonstütze S76 -2/1 Querschnitt 20x20 cm  
Stützenlänge: 480 cm lichte Brandraumhöhe: 460 cm

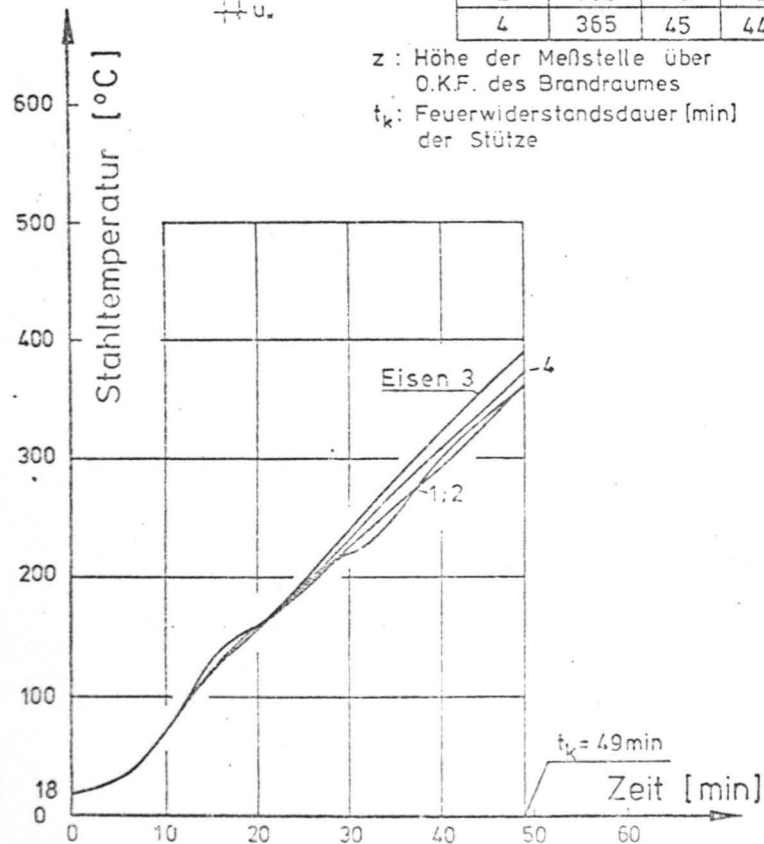
### Stahltemperaturmessung (Temperatur-Zeit-Kurven)

allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)



Eisen	z [cm]	Betondeckung u_v [mm]	u_h [mm]
1	265	47	44
3	265	45	40
2	365	46	42
4	365	45	44

z: Höhe der Meßstelle über O.K.F. des Brandraumes  
 $t_k$ : Feuerwiderstandsdauer [min] der Stütze



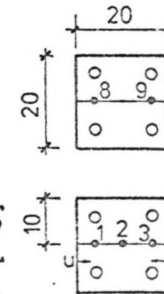
Sonderforschungsbereich 148  
Brandverhalten von Bauteilen

Bild 29

Stahlbetonstütze S76 -2/1 Querschnitt 20x20 cm  
Stützenlänge: 480 cm lichte Brandraumhöhe: 460 cm

### Betontemperaturmessung (Temperatur-Zeit-Kurven)

allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)

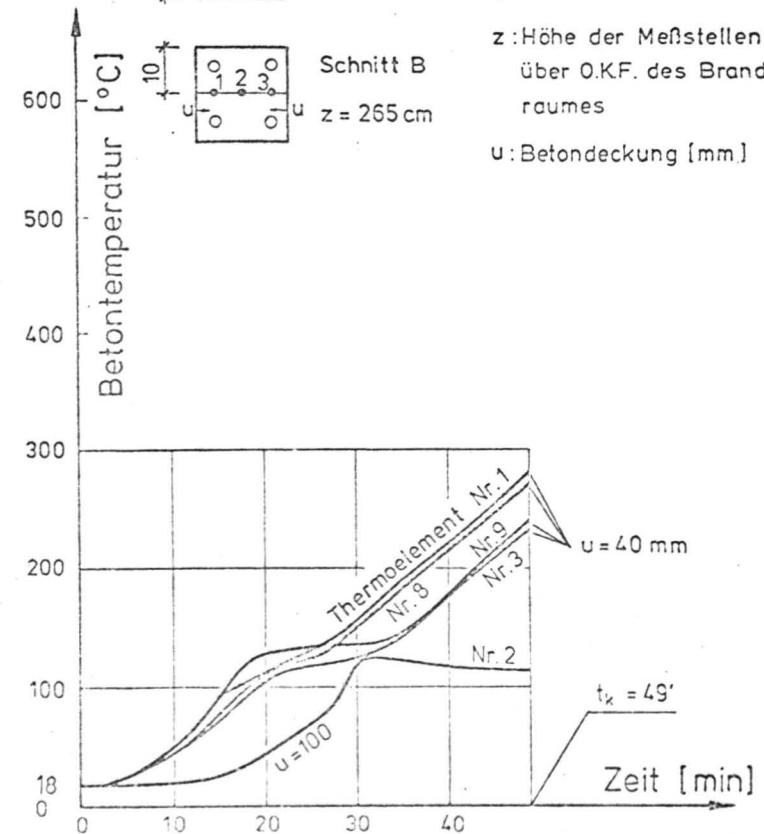


Schnitt C  
oben  
z = 365 cm

$t_k$ : Feuerwiderstandsdauer [min] der Stütze

z: Höhe der Meßstellen über O.K.F. des Brandraumes

u: Betondeckung [mm]

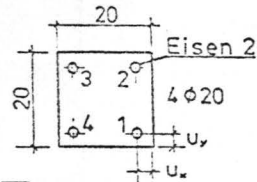


Sonderforschungsbereich 148  
Brandverhalten von Bauteilen

Bild 30

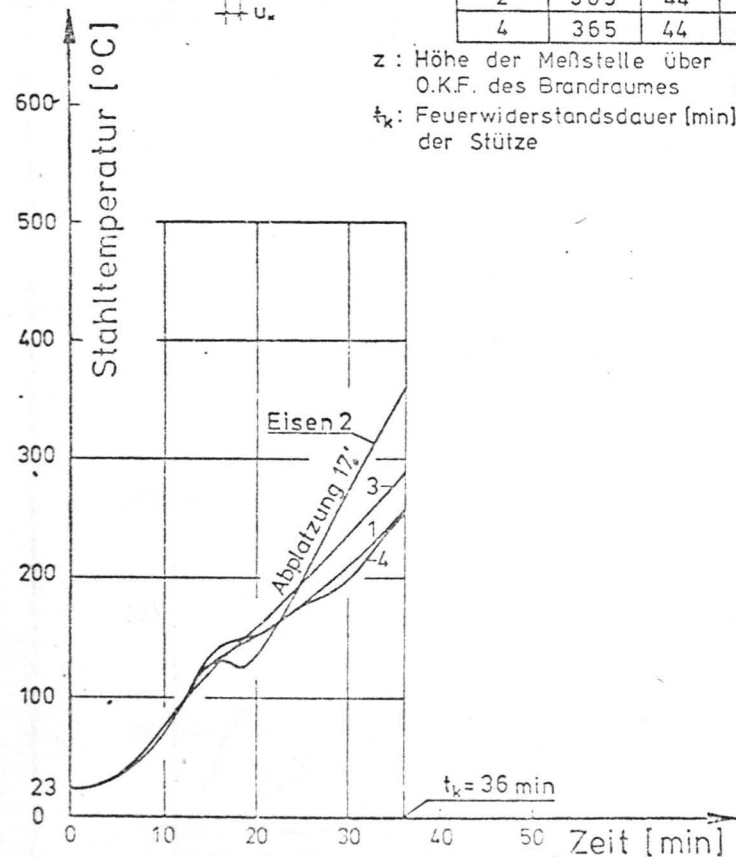
Stahlbetonstütze S76 -2/2 Querschnitt 20x20 cm  
Stützenlänge: 480cm lichte Brandraumhöhe: 460 cm

Stahltemperaturmessung (Temperatur-Zeit-Kurven)  
allseitige Beflammung nach der E.T.K (DIN 4102)



Eisen	z [cm]	Betondeckung u <sub>1</sub> [mm]	u <sub>2</sub> [mm]
1	265	44	39
3	265	47	42
2	365	44	43
4	365	44	45

z: Höhe der Meßstelle über  
O.K.F. des Brandraumes  
t<sub>x</sub>: Feuerwiderstandsdauer [min]  
der Stütze

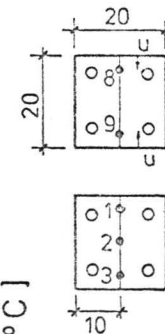


Sonderforschungsbereich 148  
Brandverhalten von Bauteilen

Bild 31

Stahlbetonstütze S76 -2/2 Querschnitt 20x20 cm  
Stützenlänge: 480cm lichte Brandraumhöhe: 460 cm

Betontemperaturmessung (Temperatur-Zeit-Kurven)  
allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)



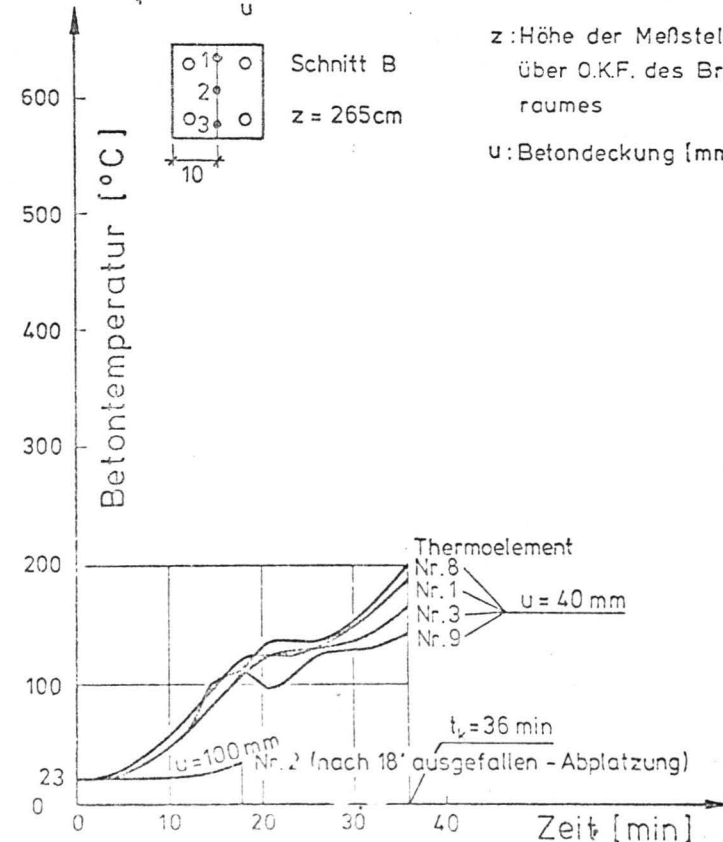
Schnitt C  
oben  
z = 365 cm

Schnitt B  
z = 265 cm

t<sub>x</sub>: Feuerwiderstands-  
dauer [min] der  
Stütze

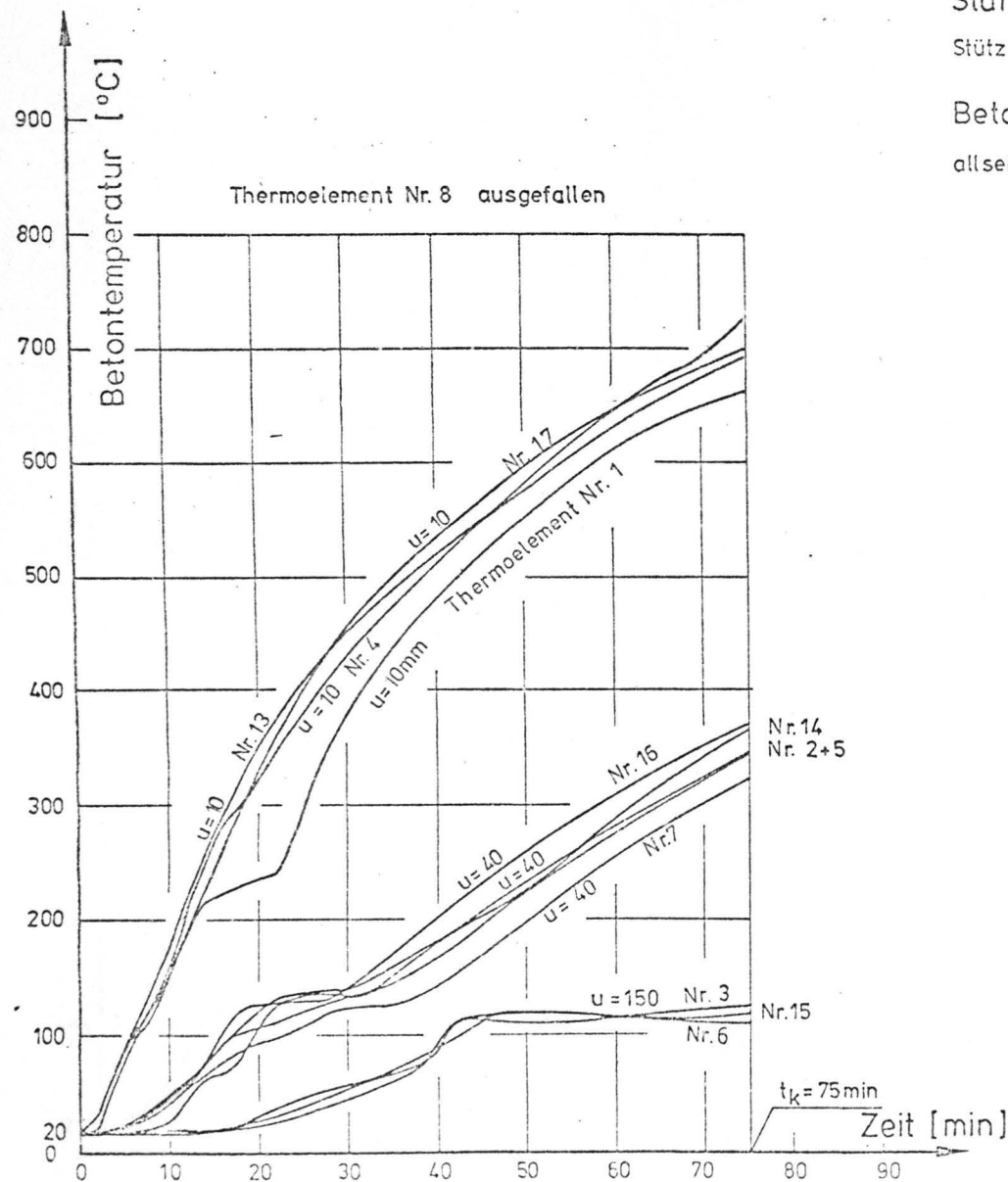
z: Höhe der Meßstellen  
über O.K.F. des Brand-  
raumes

u: Betondeckung [mm]



Sonderforschungsbereich 148  
Brandverhalten von Bauteilen

Bild 32

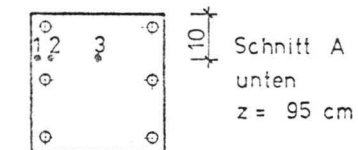
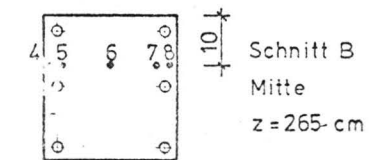
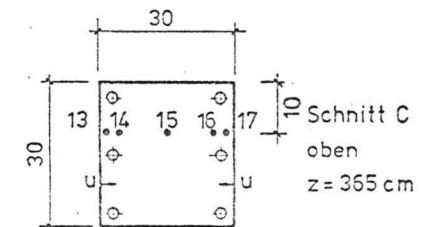


Stahlbetonstütze S 76 - 3/2 Querschnitt 30×30 cm

Stützenlänge: 480 cm lichte Brandraumhöhe: 460 cm

Betontemperaturmessung (Temperatur-Zeit-Kurven)

allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)



z = Höhe der Meßstellen über O.K.F.  
des Brandraumes

u = Betondeckung [mm]

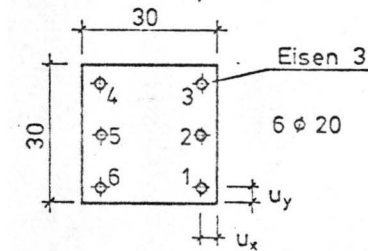
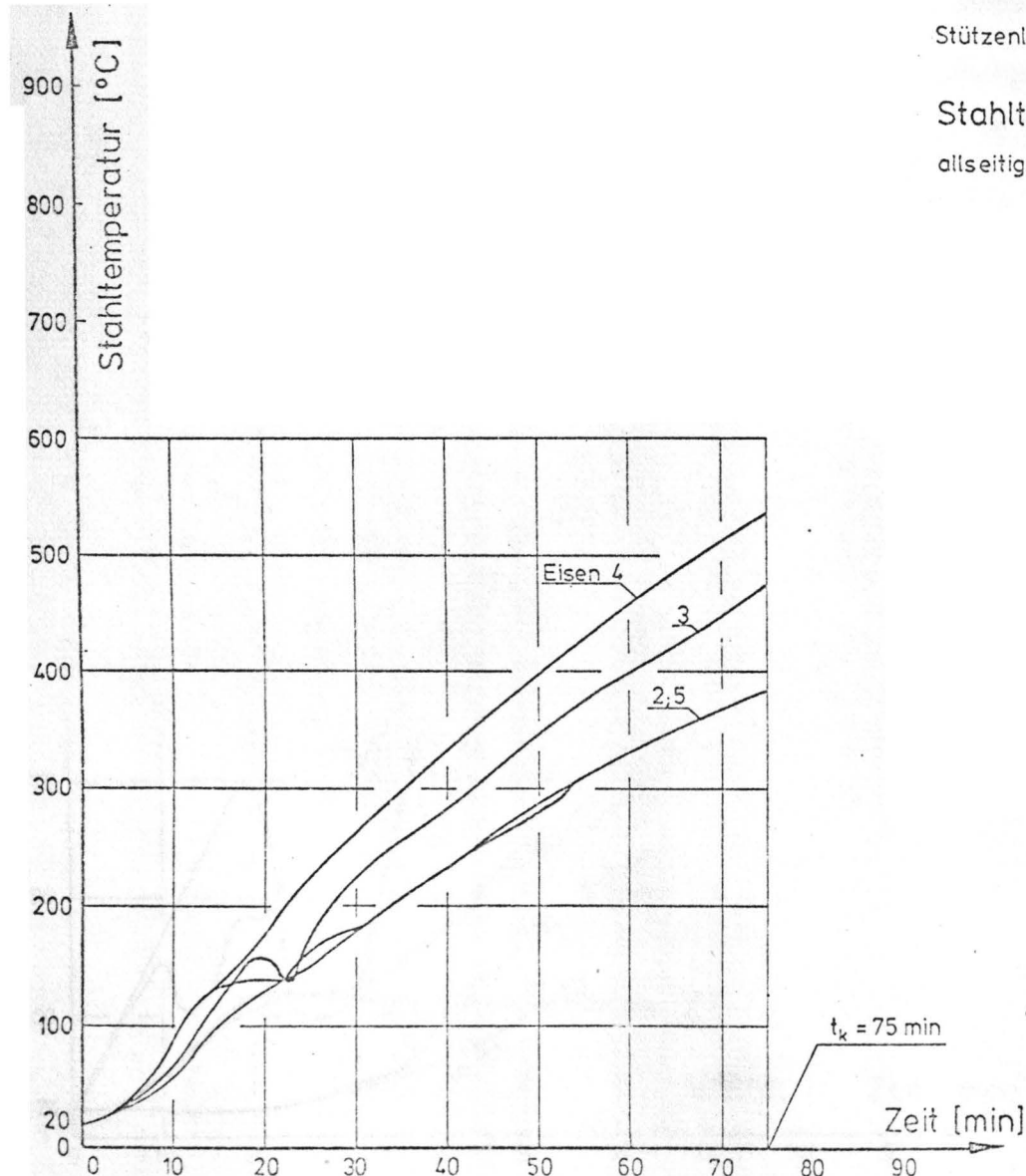
$t_k$  = Feuerwiderstandsdauer [min]  
der Stütze

Stahlbetonstütze S 76 -3/2 Querschnitt 30x30 cm

Stützenlänge: 480 cm lichte Brandraumhöhe: 460 cm.

Stahltemperaturmessung (Temperatur-Zeit-Kurven)

allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)



Eisen	z [cm]	Betondeckung $u_x$ [mm]	$u_y$ [mm]
4	265	45	45
5	265	40	—
2	365	40	—
3	365	45	45

z : Höhe der Meßstellen über O.K.F. des Brandraumes

$t_k$  : Feuerwiderstandsdauer [min] der Stütze



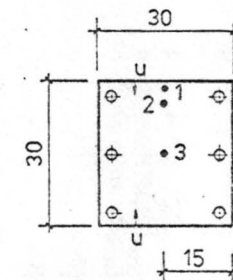
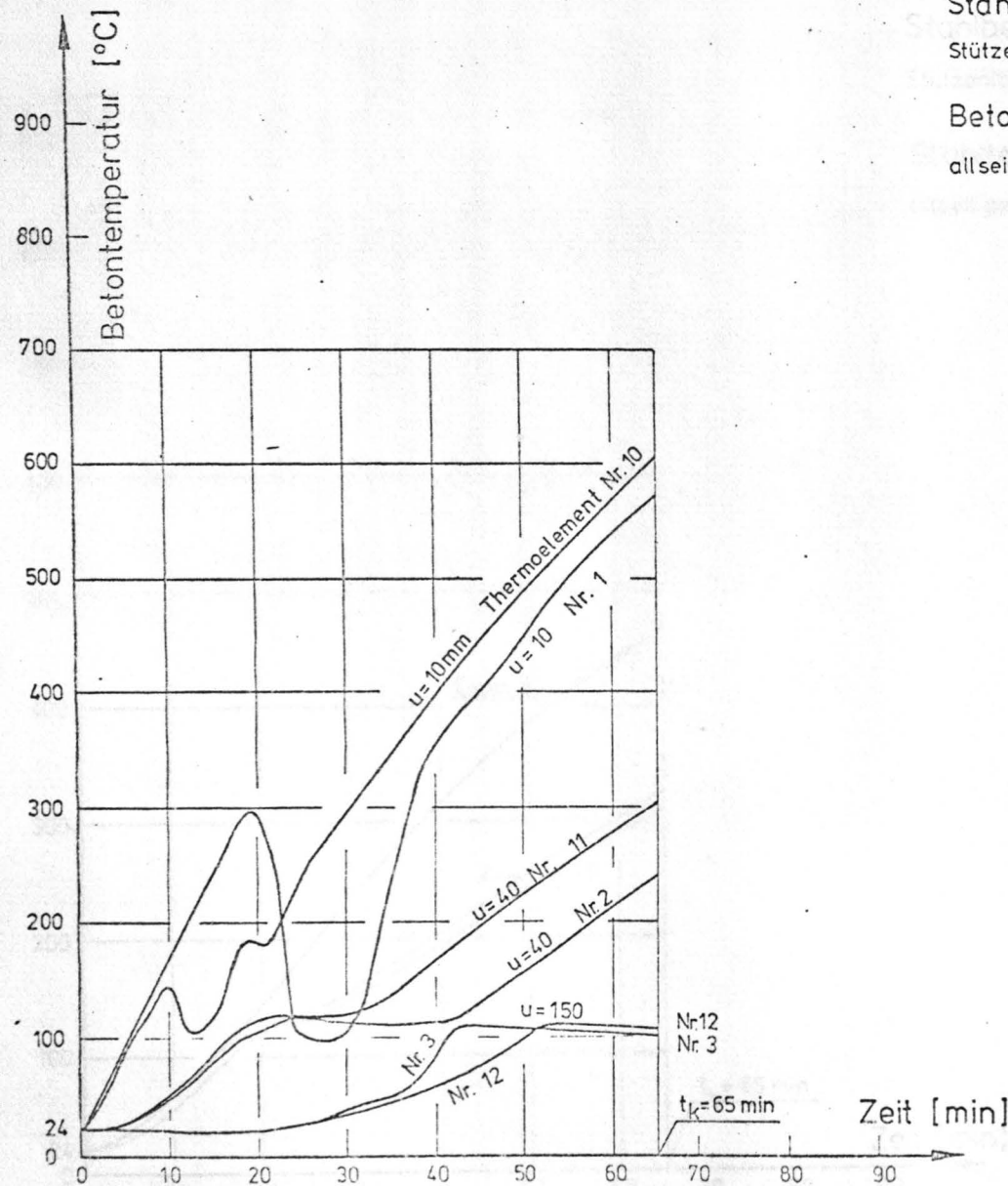
Stahlbetonstütze S 76 - 3/3 Querschnitt 30x30 cm

Stützenlänge: 480 cm

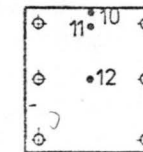
lichte Brandraumhöhe: 460 cm

Betontemperaturmessung (Temperatur-Zeit-Kurven)

allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)



Schnitt C  
oben  
z = 365 cm



Schnitt B  
Mitte  
z = 265 cm

z = Höhe der Meßstellen über O.K.F.  
des Brandraumes.

u = Betondeckung [mm]

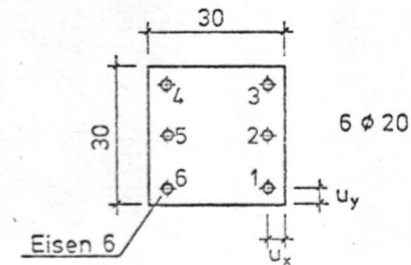
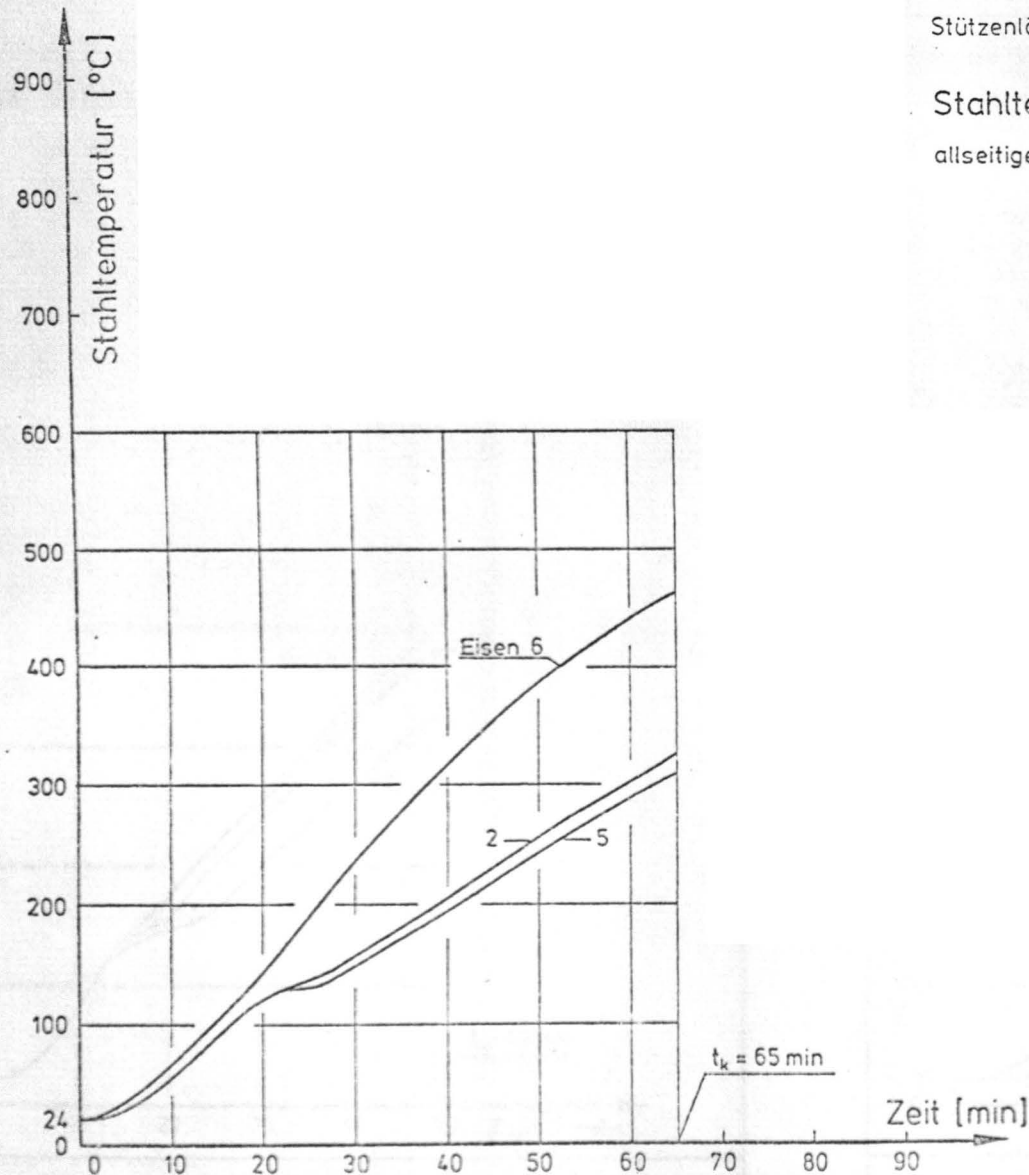
$t_k$  = Feuerwiderstandsdauer [min]  
der Stütze

Stahlbetonstütze S76-3/3 Querschnitt 30x30 cm

Stützenlänge: 480 cm lichte Brandraumhöhe: 460 cm

Stahltemperaturmessung (Temperatur-Zeit-Kurven)

allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)



Eisen	z[cm]	Betondeckung $u_x$ [mm]   $u_y$ [mm]	
2	265	40	—
5	365	40	—
6	365	45	44

z : Höhe der Meßstellen über O.K.F. des Brandraumes

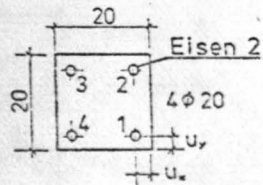
$t_k$  : Feuerwiderstandsdauer [min] der Stütze

Stahlbetonstütze S76 -4/1 Querschnitt 20x20 cm

Stützenlänge: 480 cm lichte Brandraumhöhe: 460 cm

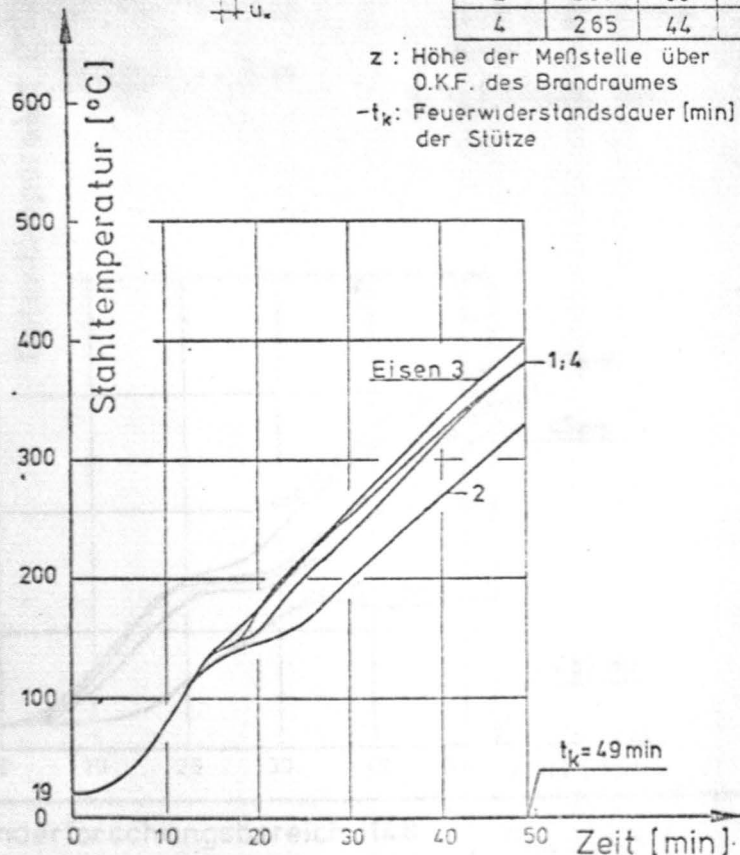
### Stahltemperaturmessung (Temperatur-Zeit-Kurven)

allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)



Eisen	z[cm]	Betondeckung u <sub>1</sub> [mm]	u <sub>2</sub> [mm]
1	95	46	47
3	95	39	41
2	265	50	46
4	265	44	43

z: Höhe der Meßstelle über O.K.F. des Brandraumes  
-t<sub>k</sub>: Feuerwiderstandsdauer [min] der Stütze



Sonderforschungsbereich 148  
Brandverhalten von Bauteilen

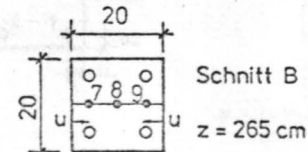
Bild 37

Stahlbetonstütze S76 -4/1 Querschnitt 20x20 cm

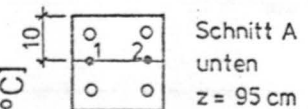
Stützenlänge: 480 cm lichte Brandraumhöhe: 460 cm

### Betontemperaturmessung (Temperatur-Zeit-Kurven)

allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)



Schnitt B  
z = 265 cm

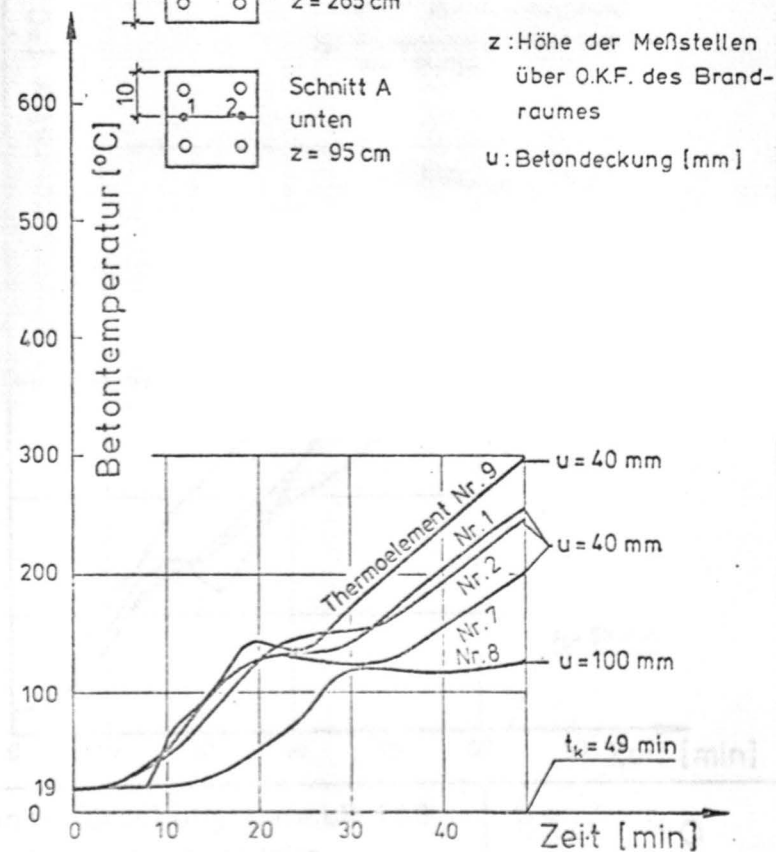


Schnitt A  
unten  
z = 95 cm

t<sub>k</sub>: Feuerwiderstandsdauer [min] der Stütze

z: Höhe der Meßstellen über O.K.F. des Brandraumes

u: Betondeckung [mm]

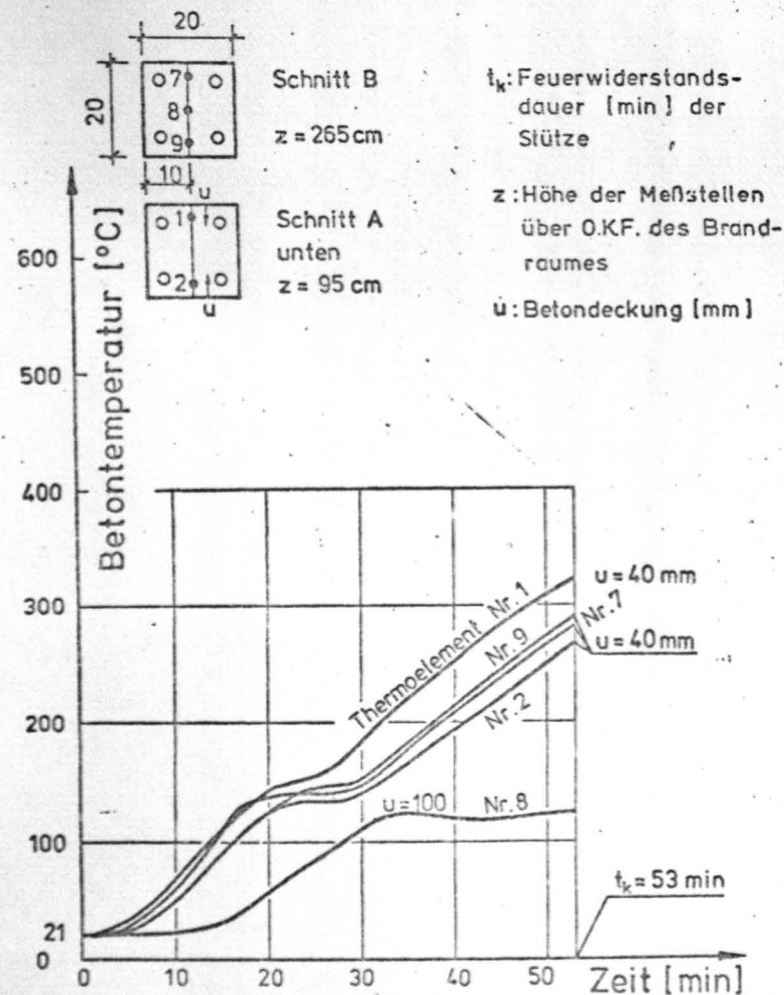


Sonderforschungsbereich 148  
Brandverhalten von Bauteilen

Bild 38

Stahlbetonstütze S76 -4/2 Querschnitt 20×20 cm  
Stützenlänge: 480 cm lichte Brandraumhöhe: 460 cm

# Betontemperaturmessung (Temperatur-Zeit-Kurven) allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)

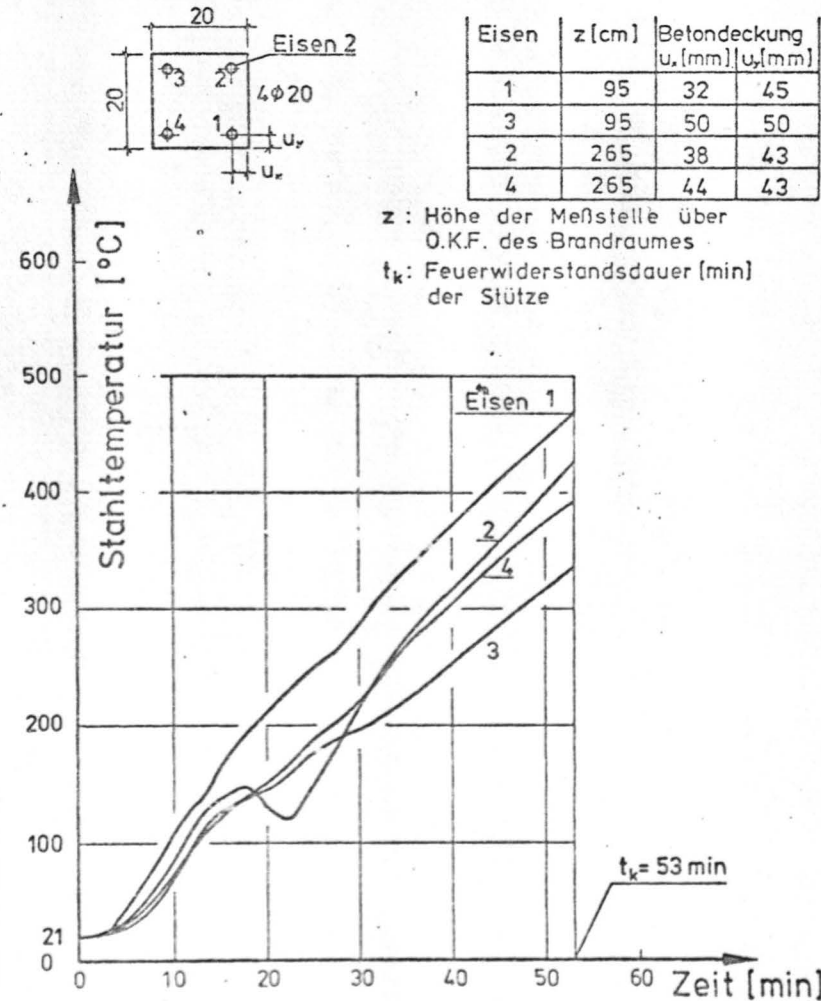


Sonderforschungsbereich 148  
Brandverhalten von Bauteilen

Bild 39

Stahlbetonstütze S76 -4/2 Querschnitt 20×20 cm  
Stützenlänge: 480 cm lichte Brandraumhöhe: 460 cm

# Stahltemperaturmessung (Temperatur-Zeit-Kurven) allseitige Beflammung nach der E.T.K. (DIN 4102)



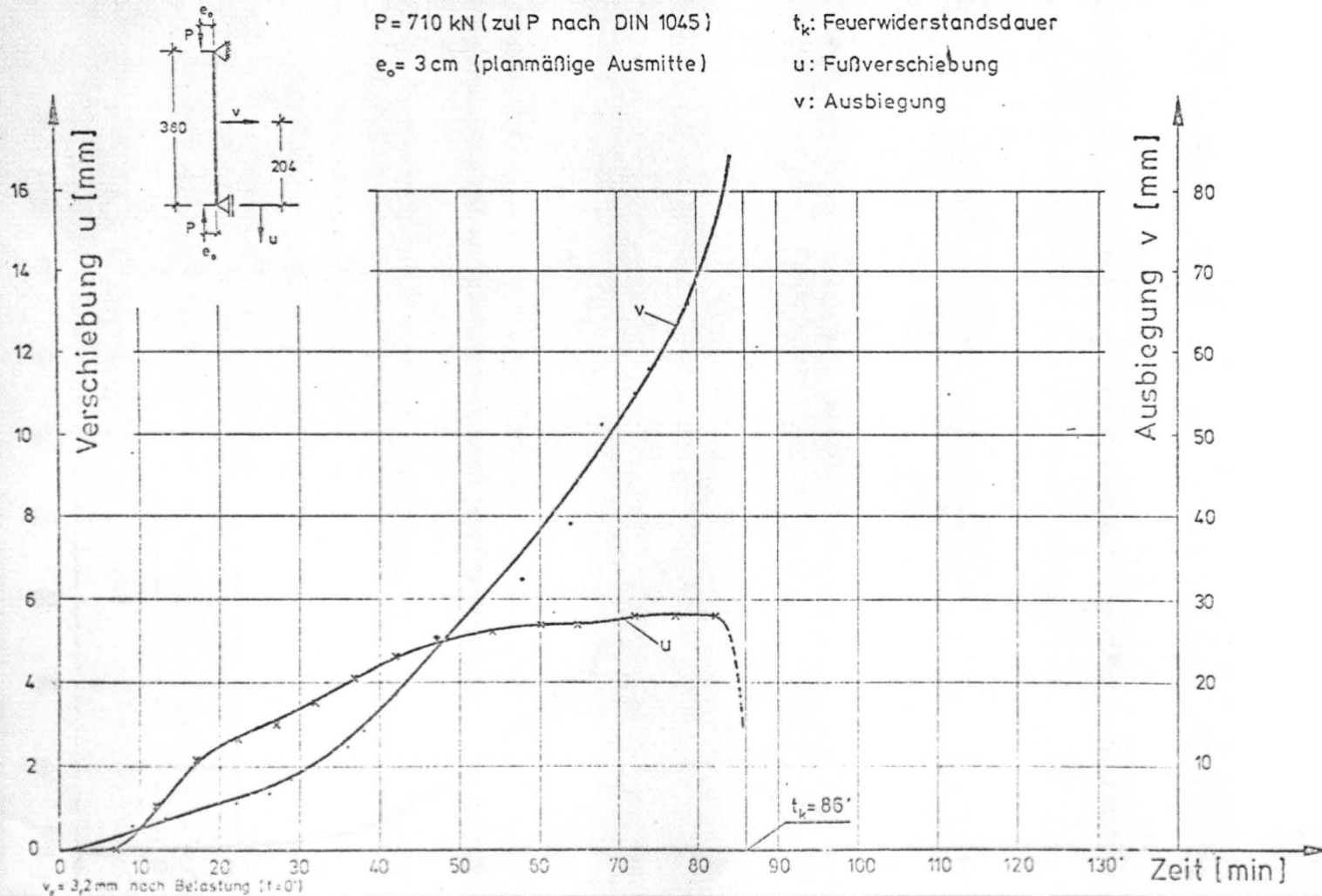
Sonderforschungsbereich 148  
Brandverhalten von Bauteilen

Bild 40

#### 13.4. Verformungsmeßergebnisse

Stahlbetonstütze S75-1/1    Querschnitt 30 × 30 cm  
 Stützenlänge: 380cm    lichte Brandraumhöhe: 360 cm  
 Beflammung: allseitig nach E.T.K. (DIN 4102)

### Verformungsmessung



Sonderforschungsbereich 148  
 Brandverhalten von Bauteilen

Bild 1

- 91 -

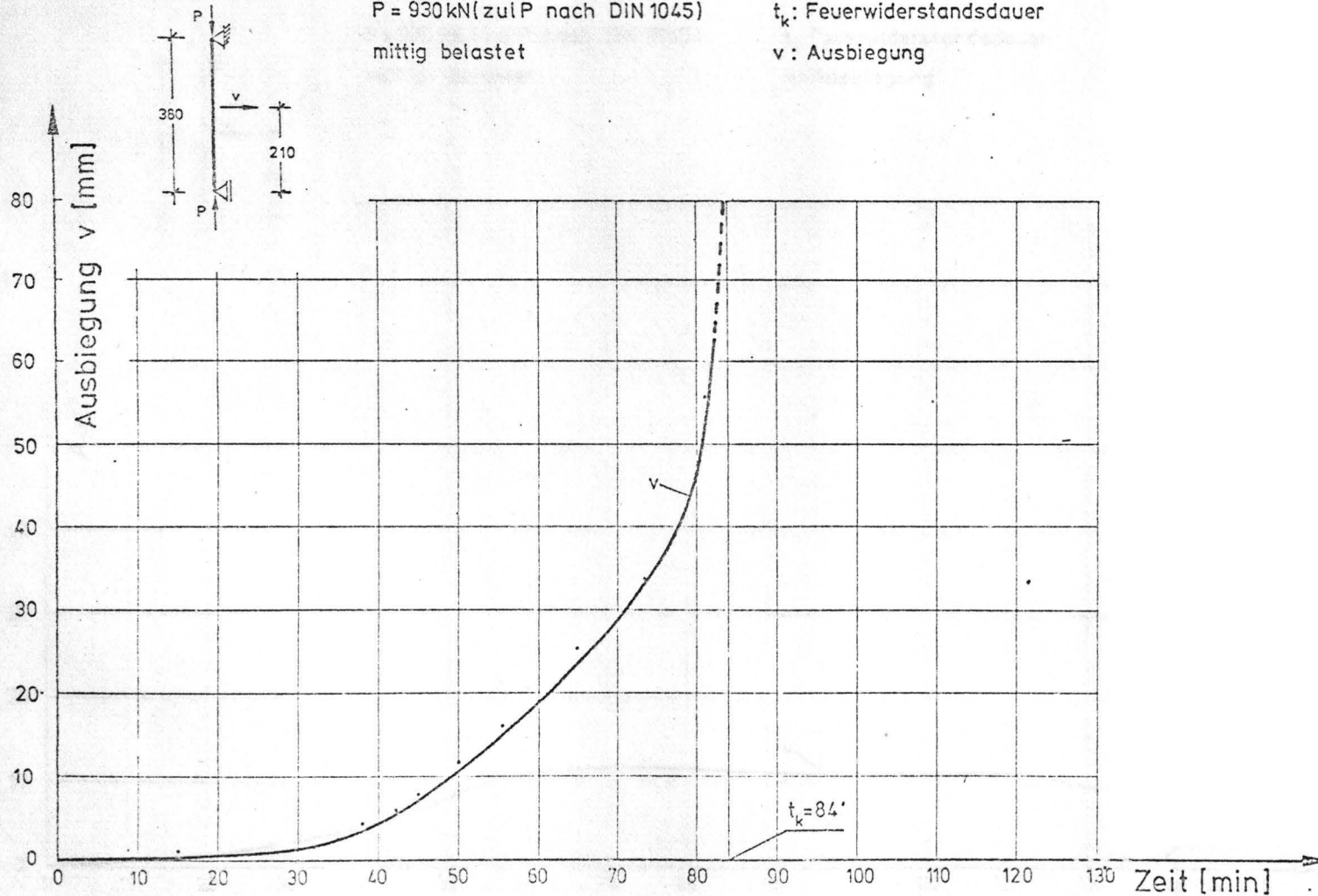


Stahlbetonstütze S75-1/2. Querschnitt: 30 x 30 cm  
 Stützenlänge: 380 cm      lichte Brandraumhöhe: 360 cm  
 Bewehrung: allseitig nach E.T.K. (DIN 4102)

### Verformungsmessung

$P = 930 \text{ kN}$  (zul  $P$  nach DIN 1045)  
 mittig belastet

$t_k$ : Feuerwiderstandsdauer  
 $v$ : Ausbiegung



Sonderforschungsbereich 148  
 Brandverhalten von Bauteilen

Bild 2

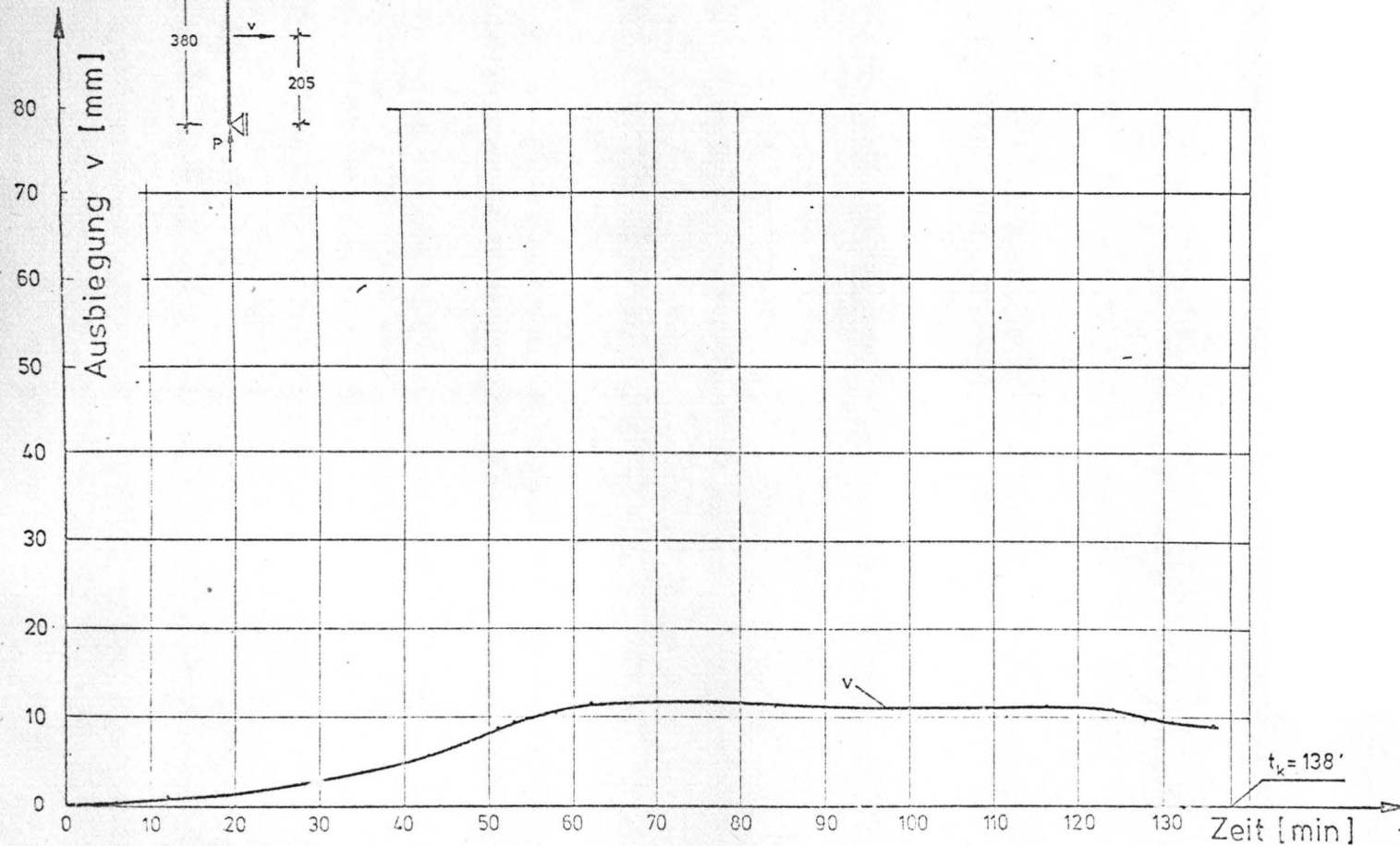


Stahlbetonstütze S 75-1/3    Querschnitt 30 × 30 cm  
 Stützenlänge: 380 cm    lichte Brandraumhöhe: 360 cm  
 Beflammung: allseitig nach E.T.K. (DIN 4102)

### Verformungsmessung

$P = 930 \text{ kN}$  (zul  $P$  nach DIN 1045)  
 mittig belastet

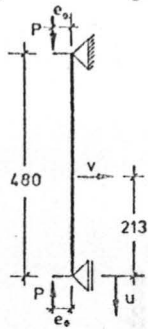
$t_k$ : Feuerwiderstandsdauer  
 $v$ : Ausbiegung



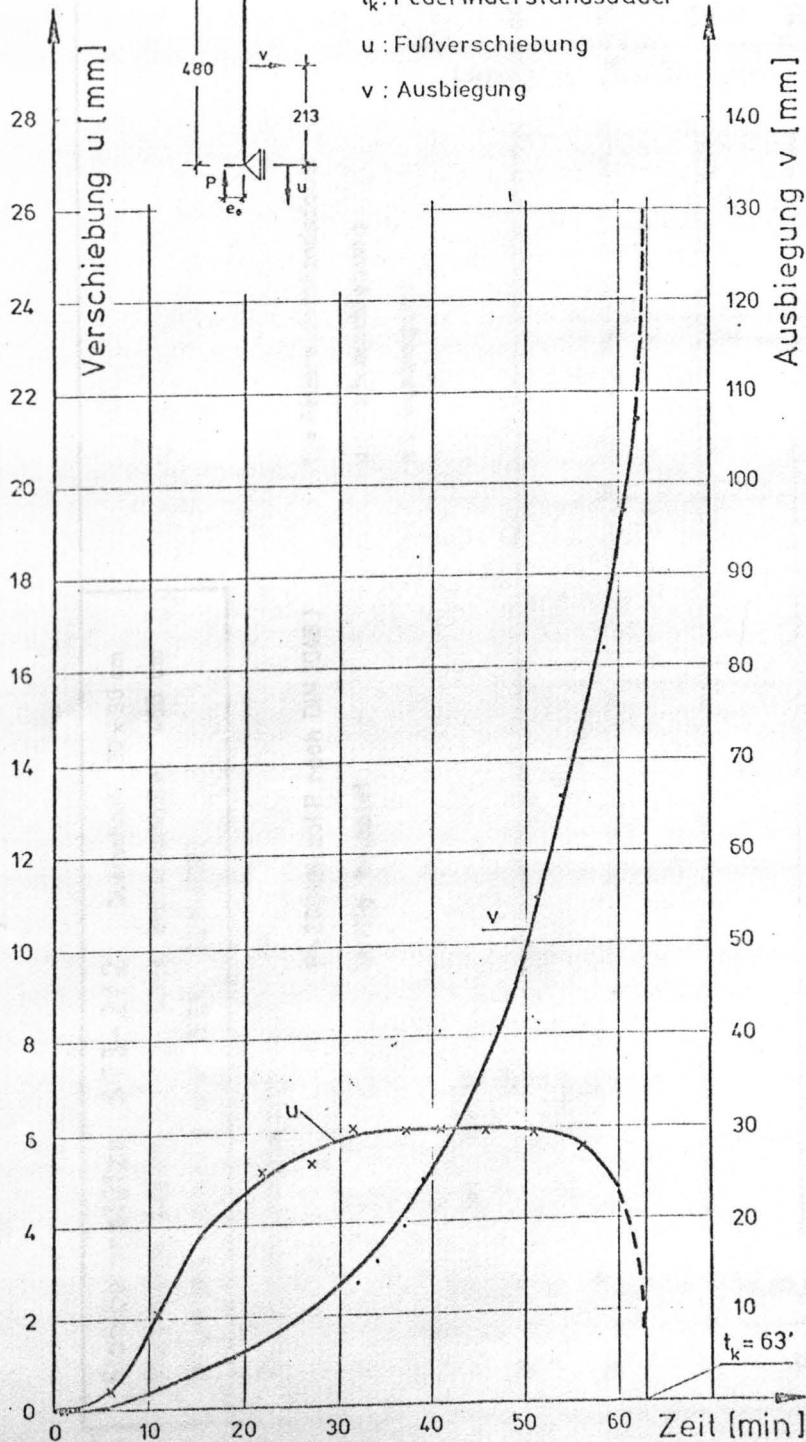
-93-

Stahlbetonstütze S75-2/1 Querschnitt 30 x 30 cm  
 Stützenlänge : 480 cm lichte Brandraumhöhe: 460 cm  
 Beflammung : allseitig nach E.T.K. , (DIN 4102)

# Verformungsmessung



$P = 650 \text{ kN}$  (zul P nach DIN 1045)  
 $e_0 = 3 \text{ cm}$  (planmäßige Ausmitte)  
 $t_k$ : Feuerwiderstandsdauer  
 $u$ : Fußverschiebung  
 $v$ : Ausbiegung



Sonderforschungsbereich 148  
 Brandverhalten von Bauteilen

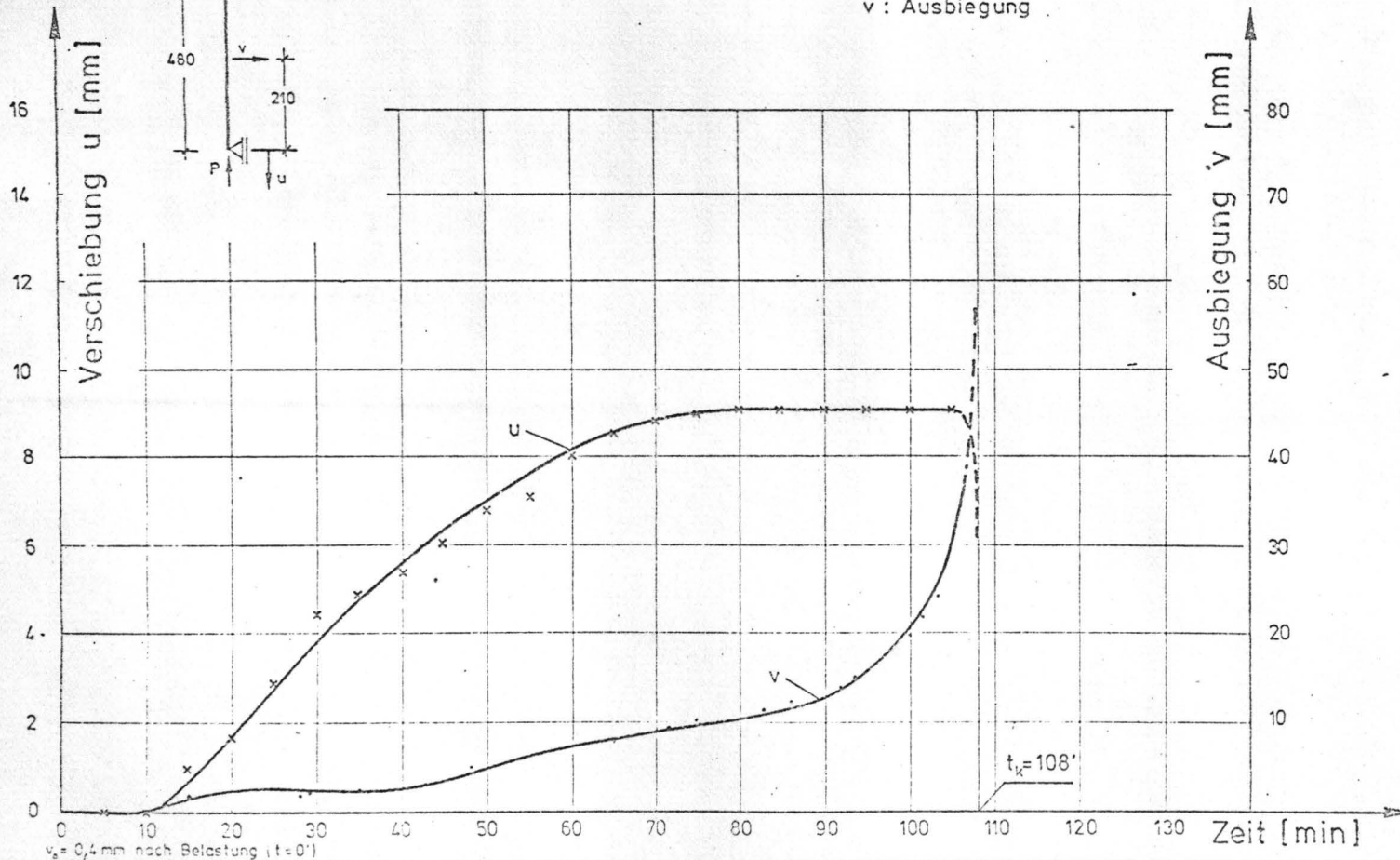
Bild 4

Stahlbetonstütze S75-2/2 Querschnitt 30 x 30 cm  
 Stützenlänge: 480 cm lichte Brandraumhöhe: 460 cm  
 Beflammung: allseitig nach E.T.K. (DIN 4102)

### Verformungsmessung

$P = 880 \text{ kN}$  (zul  $P$  nach DIN 1045)  
 mittig belastet

$t_k$  = Feuerwiderstandsdauer  
 $u$  : Fußverschiebung  
 $v$  : Ausbiegung



- 95 -

Stahlbetonstütze S75-3/1 Querschnitt 30 x 30 cm  
 Stützenlänge : 580 cm lichte Brandraumhöhe: 560 cm  
 Beflammung: allseitig nach E.T.K. (DIN 4102)

# Verformungsmessung

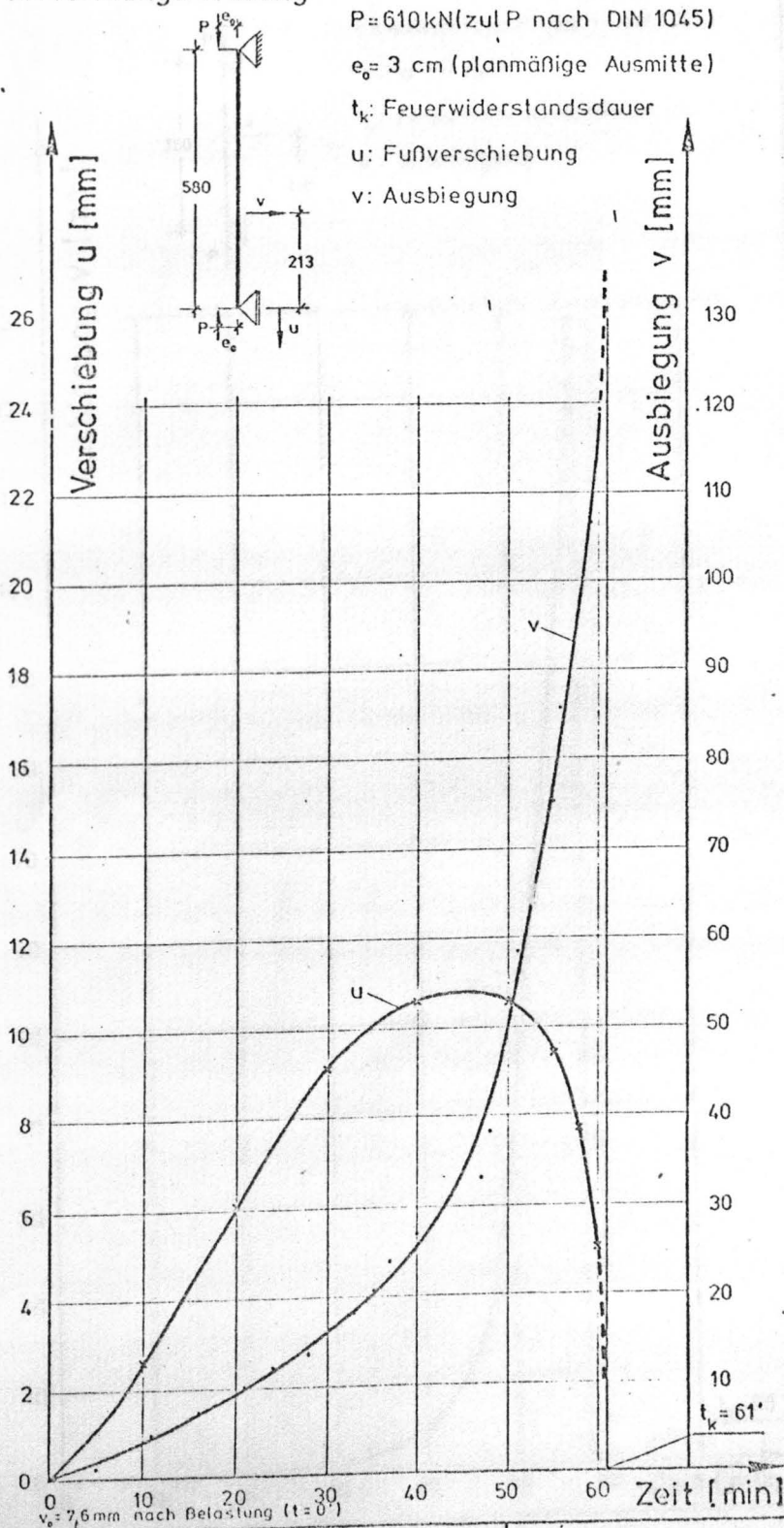
$P = 610 \text{ kN}$  (zul  $P$  nach DIN 1045)

$e_0 = 3 \text{ cm}$  (planmäßige Ausmitte)

$t_k$ : Feuerwiderstandsdauer

$u$ : Fußverschiebung

$v$ : Ausbiegung



Sonderforschungsbereich 148  
 Brandverhalten von Bauteilen

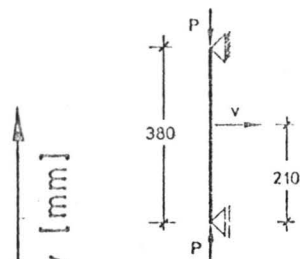
Bild 6

Stahlbetonstütze S 75-4/1 Querschnitt 20 × 20 cm

Stützenlänge : 380 cm lichte Brandraumhöhe: 360 cm

Beflammung: allseitig nach E.T.K. (DIN 4102)

### Verformungsmessung

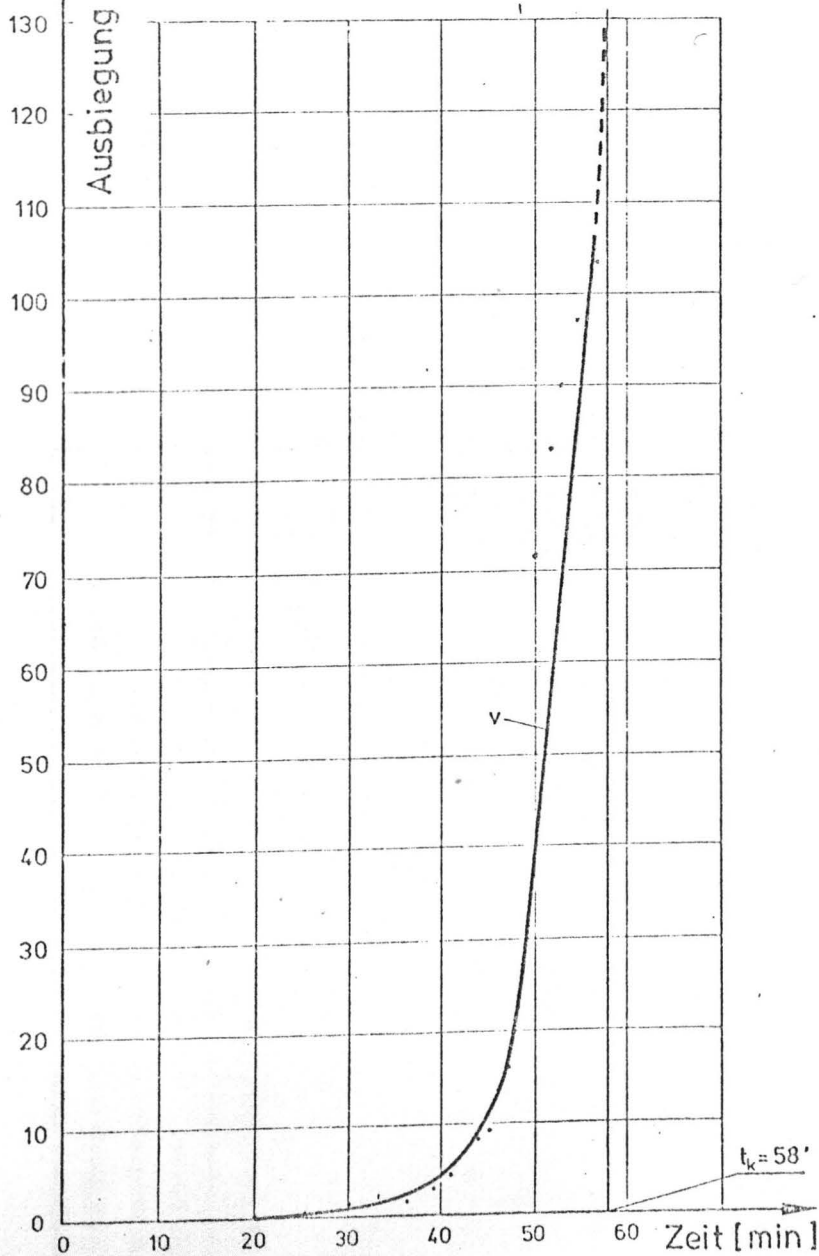


$P = 420 \text{ kN}$  (zul  $P$  nach DIN 1045)

mittig belastet

$t_k$ : Feuerwiderstandsdauer

$v$ : Ausbiegung



Sonderforschungsbereich 148

Brandverhalten von Bauteilen

Bild 7

Stahlbetonstütze S75-5/2 Querschnitt 20 × 20 cm

Stützenlänge: 480 cm lichte Brandraumhöhe: 460 cm

Beflammung: allseitig nach E.T.K. (DIN 4102)

### Verformungsmessung

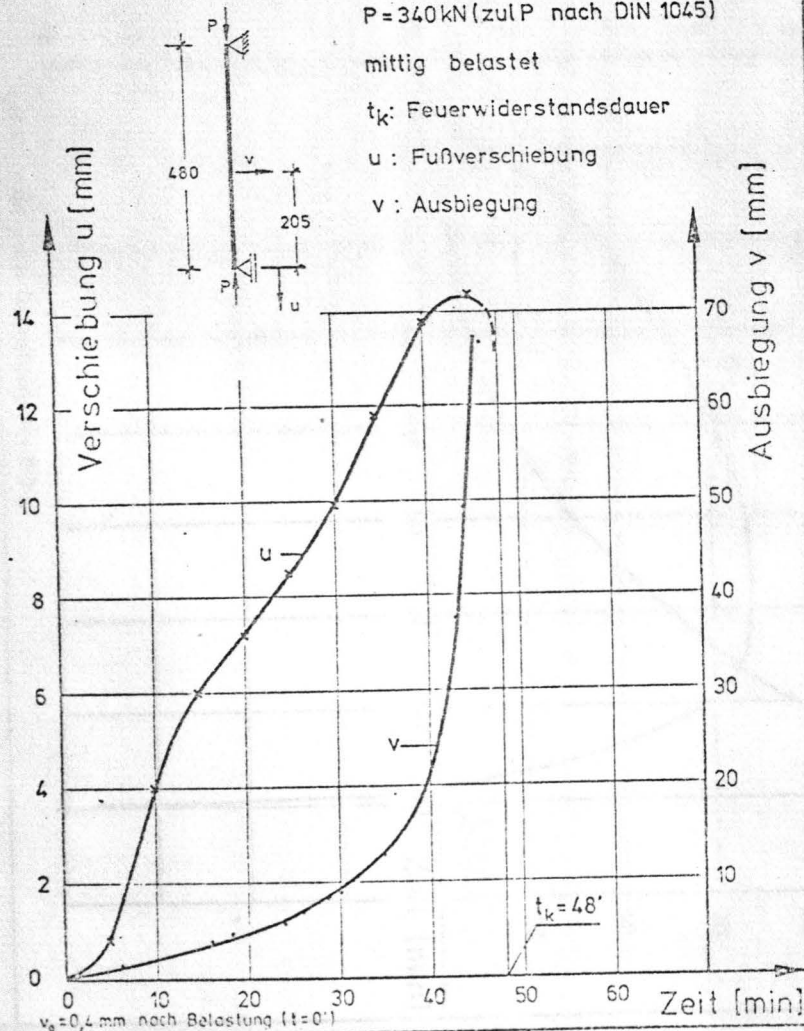
$P = 340 \text{ kN}$  (zul  $P$  nach DIN 1045)

mittig belastet

$t_k$ : Feuerwiderstandsdauer

$u$ : Fußverschiebung

$v$ : Ausbiegung



Sonderforschungsbereich 148

Brandverhalten von Bauteilen

Bild 8

Stahlbetonstütze S75-4/2 Querschnitt 20 × 20 cm

Stützenlänge: 380 cm lichte Brandraumhöhe: 360 cm

Beflammung: allseitig nach E.T.K. (DIN 4102)

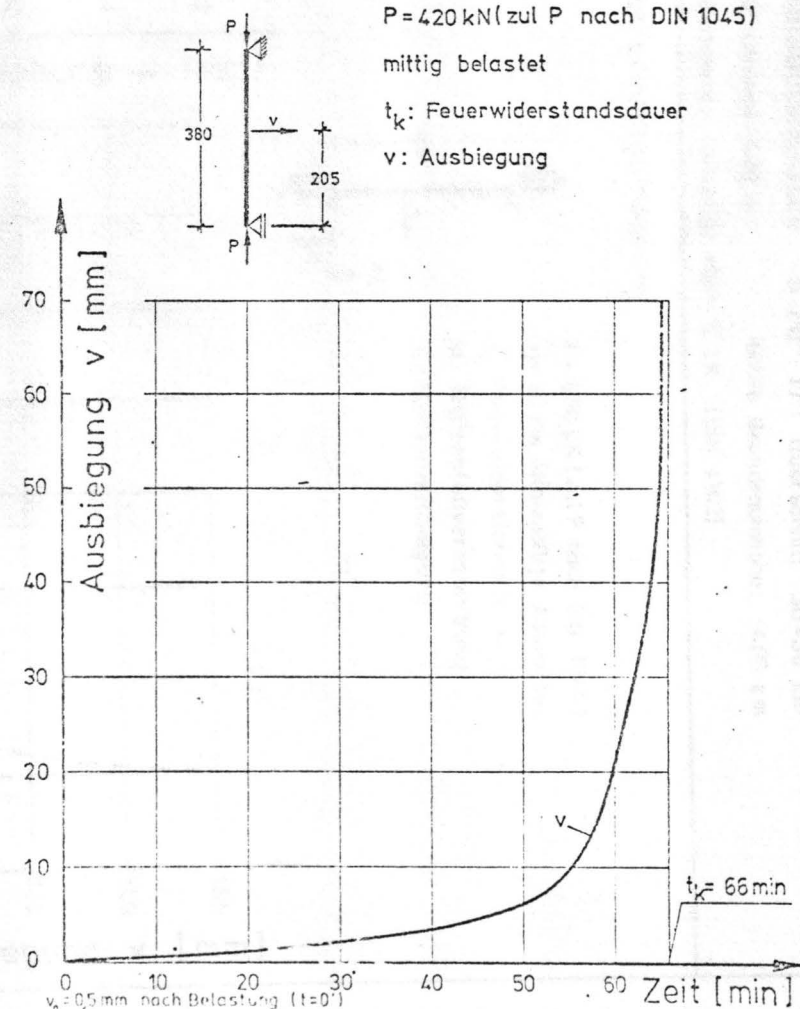
### Verformungsmessung

$P = 420 \text{ kN}$  (zul  $P$  nach DIN 1045)

mittig belastet

$t_k$ : Feuerwiderstandsdauer

$v$ : Ausbiegung



Sonderforschungsbereich 148

Brandverhalten von Bauteilen

Bild 9



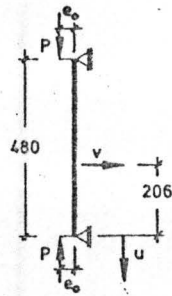
Stahlbetonstütze S 76- 1/1 Querschnitt 30×30 cm

Stützenlänge: 480 cm

lichte Brandraumhöhe: 460 cm

Beflammung: allseitige nach E.T.K. (DIN 4102)

### Verformungsmessung



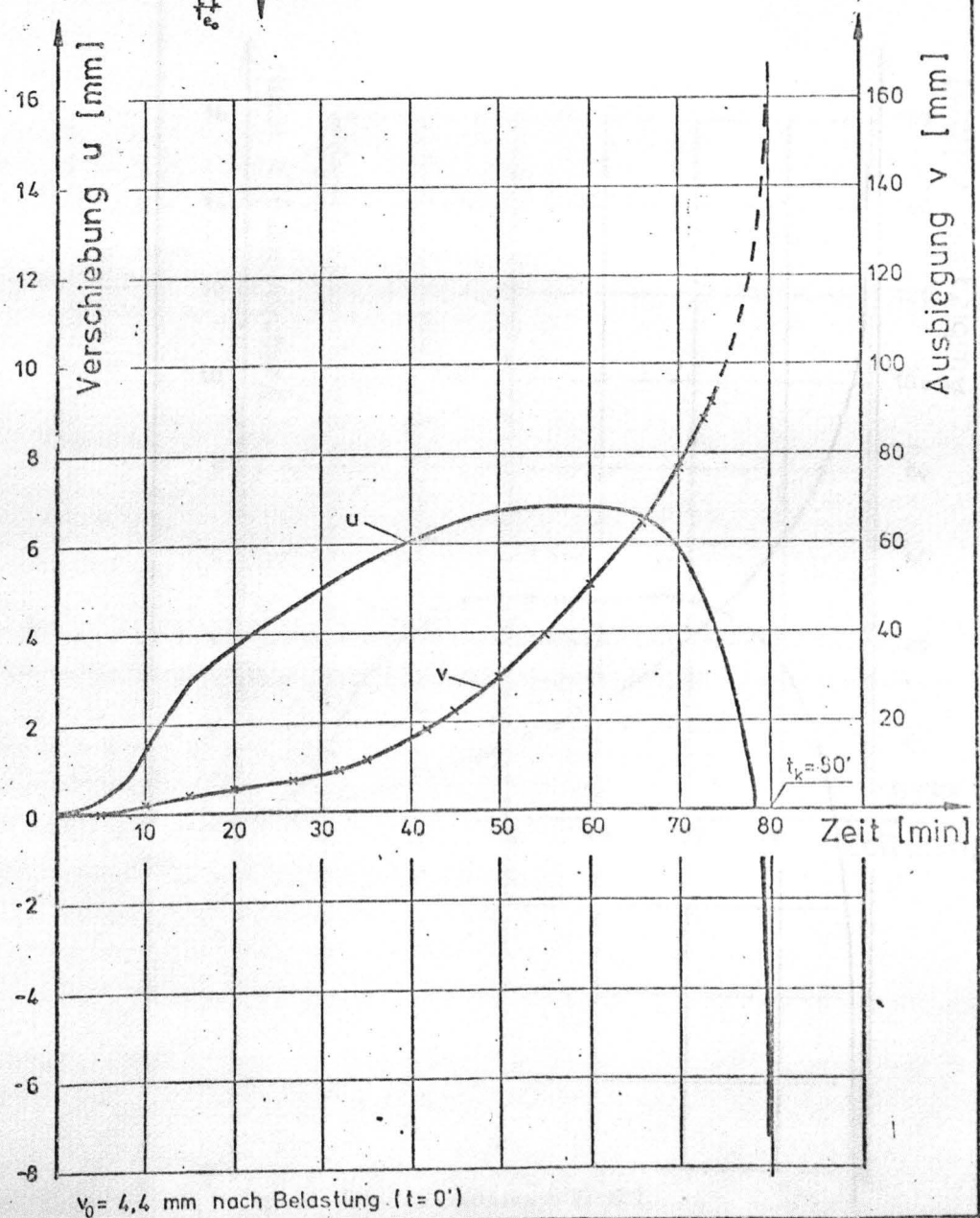
$P = 650 \text{ kN}$  (zul  $P$  nach DIN 1045)

$e_0 = 30 \text{ cm}$  (planmäßige Ausmitte)

$t_k$ : Feuerwiderstandsdauer

$u$ : Stützenfußverschiebung

$v$ : Stützenschiebung



Sonderforschungsbereich 148  
Brandverhalten von Bauteilen

Bild 10



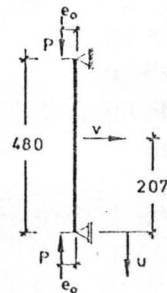
Stahlbetonstütze S76-1/2 Querschnitt 30 x 30 cm

Stützenlänge: 480 cm

lichte Brandraumhöhe 460 cm

Beflammung: allseitige nach E.T.K. (DIN 4102)

## Verformungsmessung



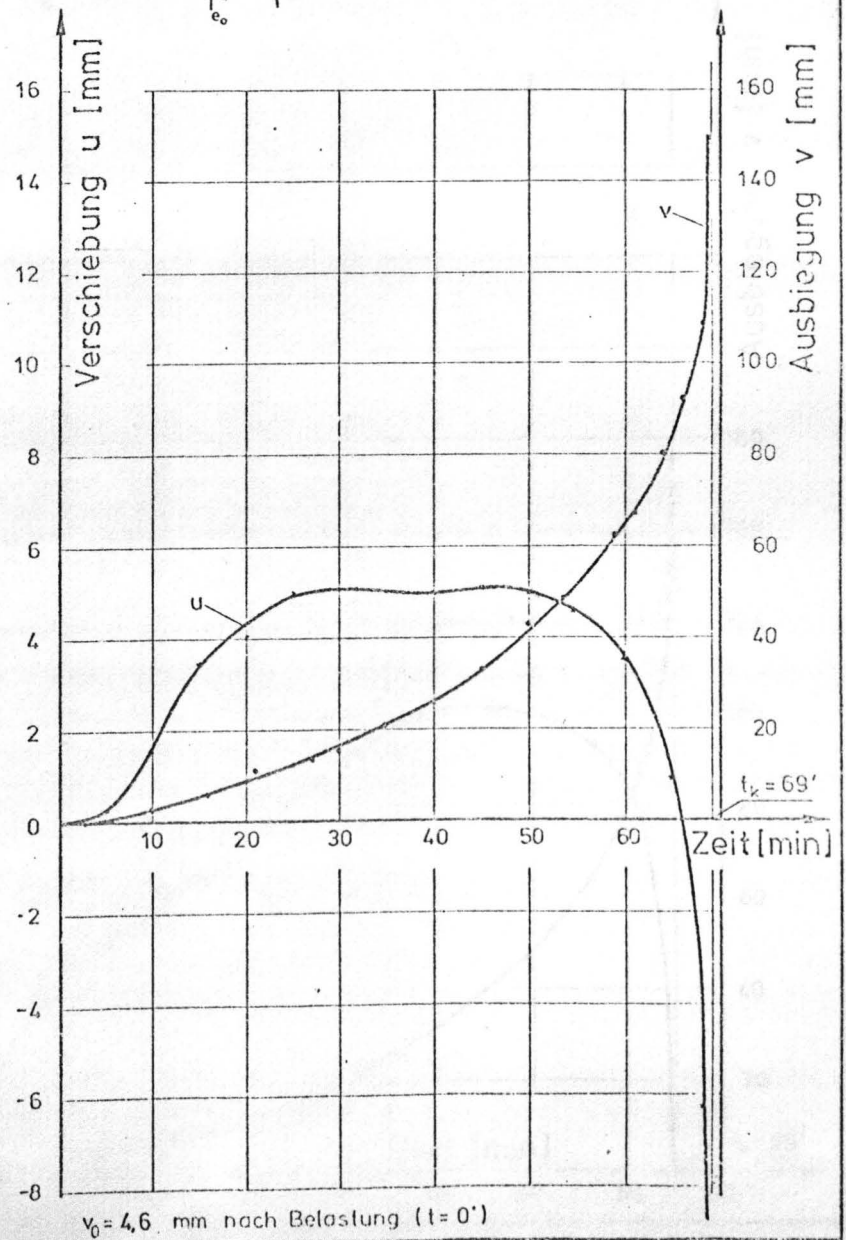
$P = 650$  kN (zul P nach DIN 1045)

$e_0 = 30$  cm (planmäßige Ausmitte)

$t_k$ : Feuerwiderstandsdauer

$u$ : Stützenfußverschiebung

$v$ : Stützenschiebung



Sonderforschungsbereich 148  
Brandverhalten von Bauteilen

Bild 11

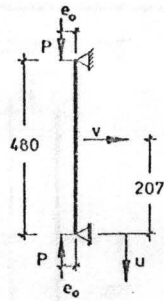
Stahlbetonstütze S76-1/3 Querschnitt 30 × 30 cm

Stützenlänge : 480 cm

lichte Brandraumhöhe: 460 cm

Beflammung: allseitig nach E.T.K. (DIN 4102)

### Verformungsmessung



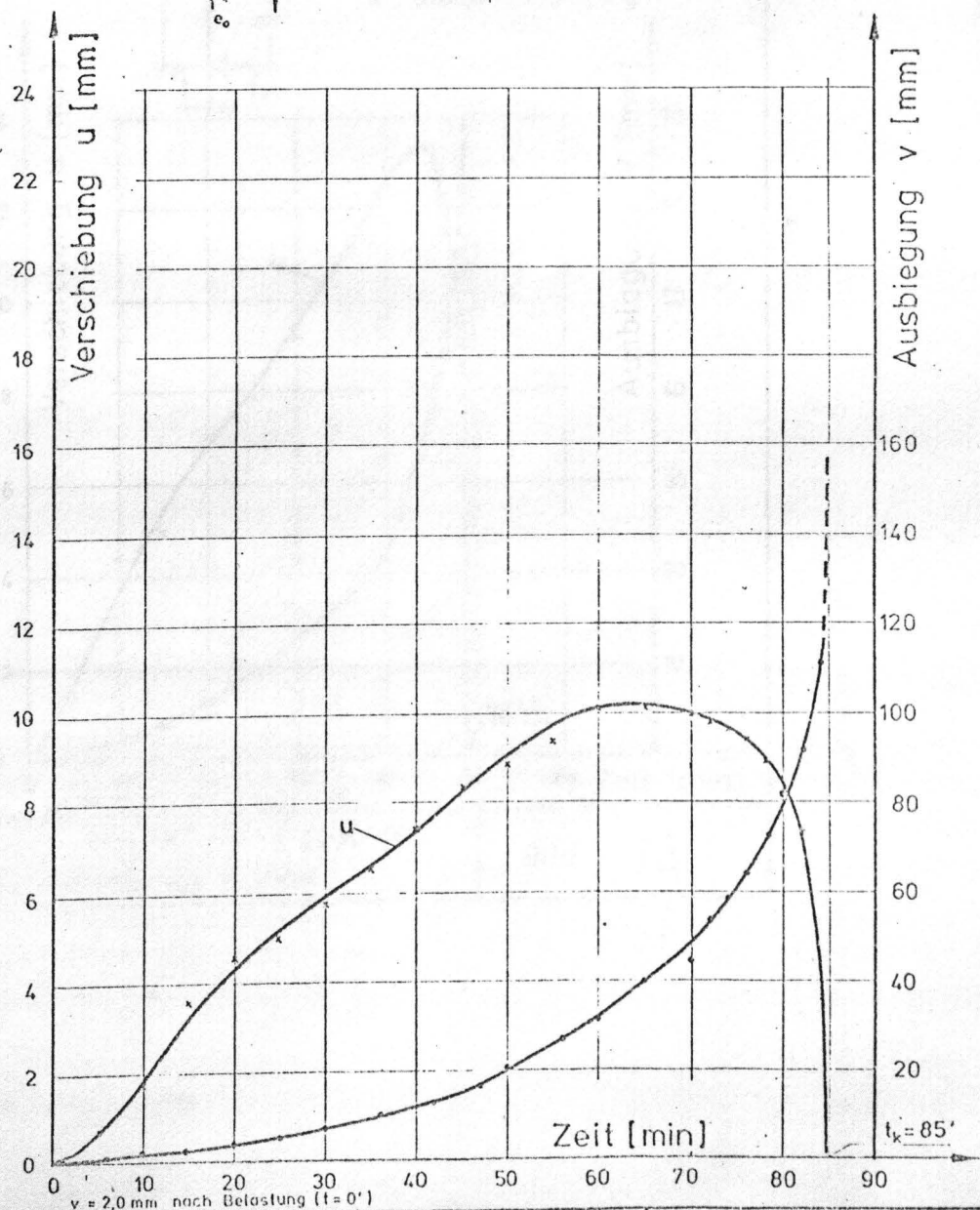
$P = 740 \text{ kN}$  (zul.  $P$  nach DIN 1045)

$e_o = 1,5 \text{ cm}$  (planmäßige Ausmitte)

$t_k$ : Feuerwiderstandsdauer

$u$ : Stützenfußverschiebung

$v$ : Stützensausbiegung



Sonderforschungsbereich 148

Brandverhalten von Bauteilen

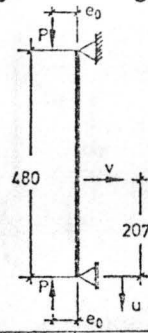
Bild 12

Stahlbetonstütze S 76- 2/1 Querschnitt 20 x 20 cm

Stützenlänge: 480 cm lichte Brandraumhöhe 460 cm

Beflammung: allseitig nach E.T.K. (DIN 4102)

### Verformungsmessung



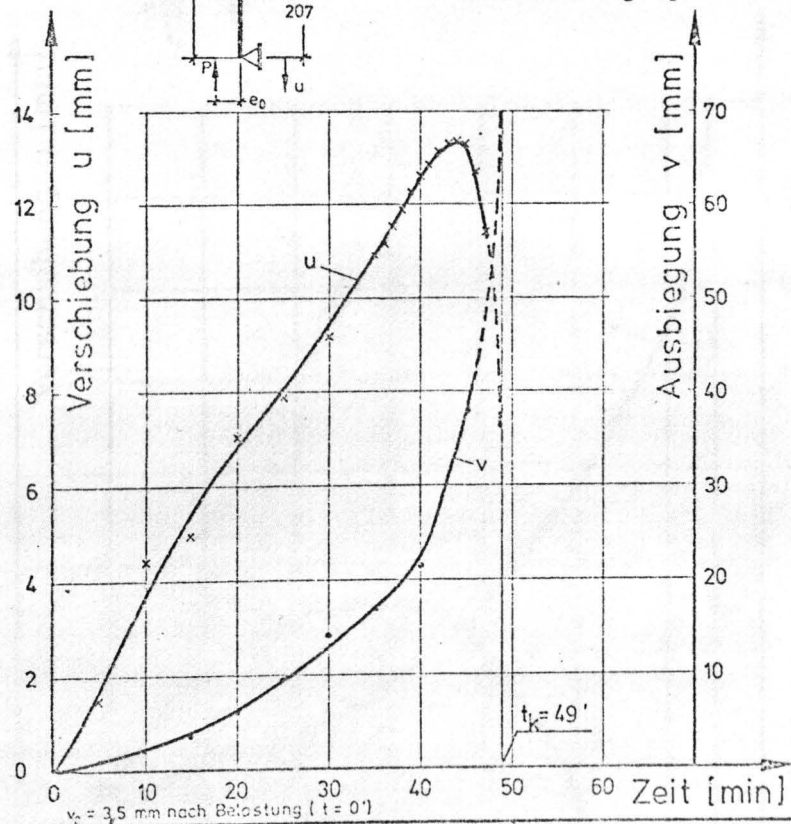
$P = 280 \text{ kN}$  (zul.  $P$  nach DIN 1045)

$e_0 = 1,0 \text{ cm}$  (planmäßige Ausmitte)

$t_k$ : Feuerwiderstandsdauer

$u$ : Stützenfußverschiebung

$v$ : Stützenschiebung



Sonderforschungsbereich 148

Brandverhalten von Bauteilen

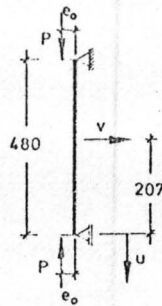
Bild 13

Stahlbetonstütze S 76- 3/2 Querschnitt 30×30 cm

Stützenlänge: 480 cm lichte Brandraumhöhe: 460 cm

Beflammung: allseitige nach E.T.K. (DIN 4102)

### Verformungsmessung



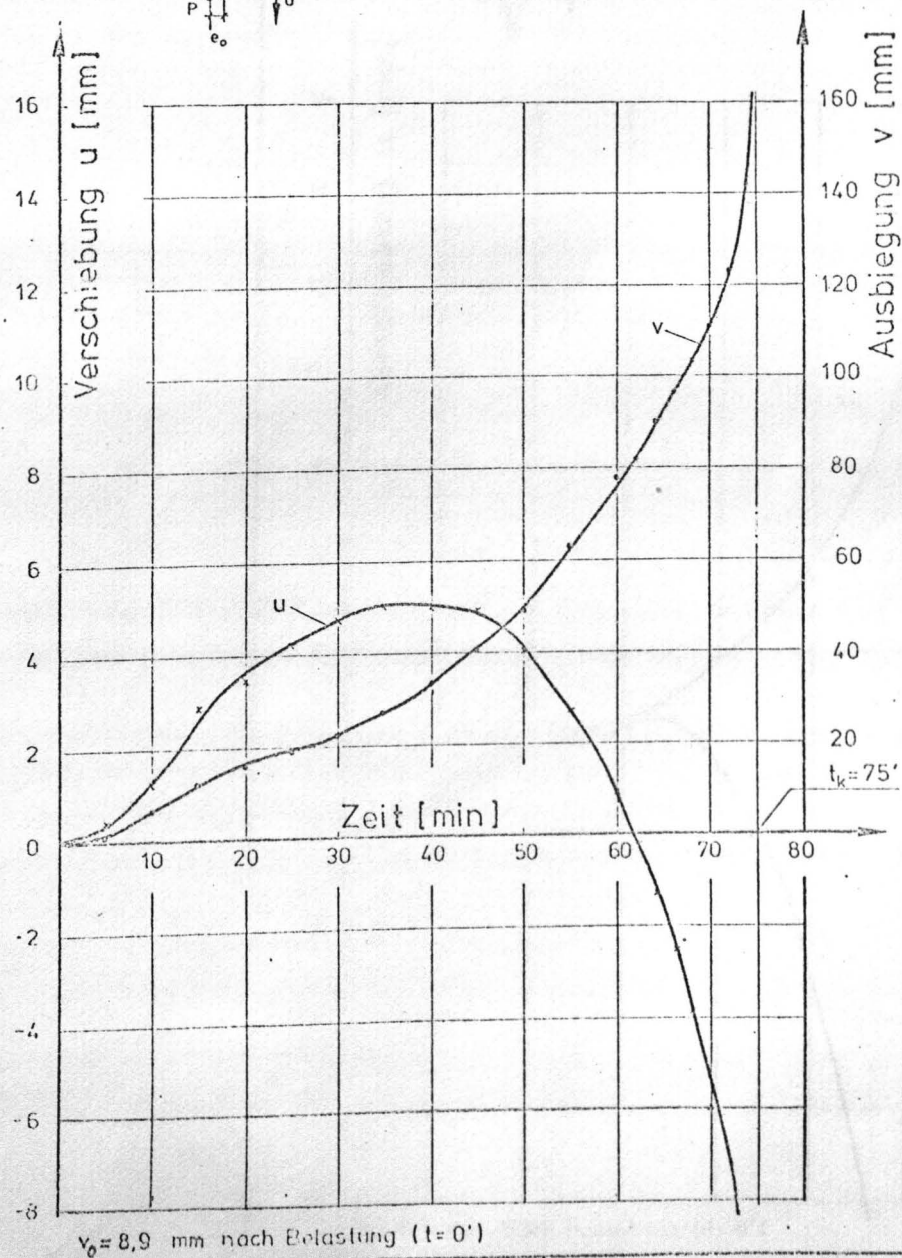
$P = 460 \text{ kN}$  (zul  $P$  nach DIN 1045)

$e_0 = 9 \text{ cm}$  (planmäßige Ausmitte)

$t_k$ : Feuerwiderstandsdauer

$u$ : Stützenfußverschiebung

$v$ : Stützensausbiegung



Sonderforschungsbereich 148  
Brandverhalten von Bauteilen

Bild 14

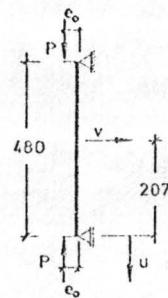
Stahlbetonstütze S 76- 3/3 Querschnitt 30 x 30 cm

Stützenlänge: 480 cm

lichte Brandraumhöhe 460 cm

Beflammung: allseitige nach E.T.K. (DIN 4102)

# Verformungsmessung



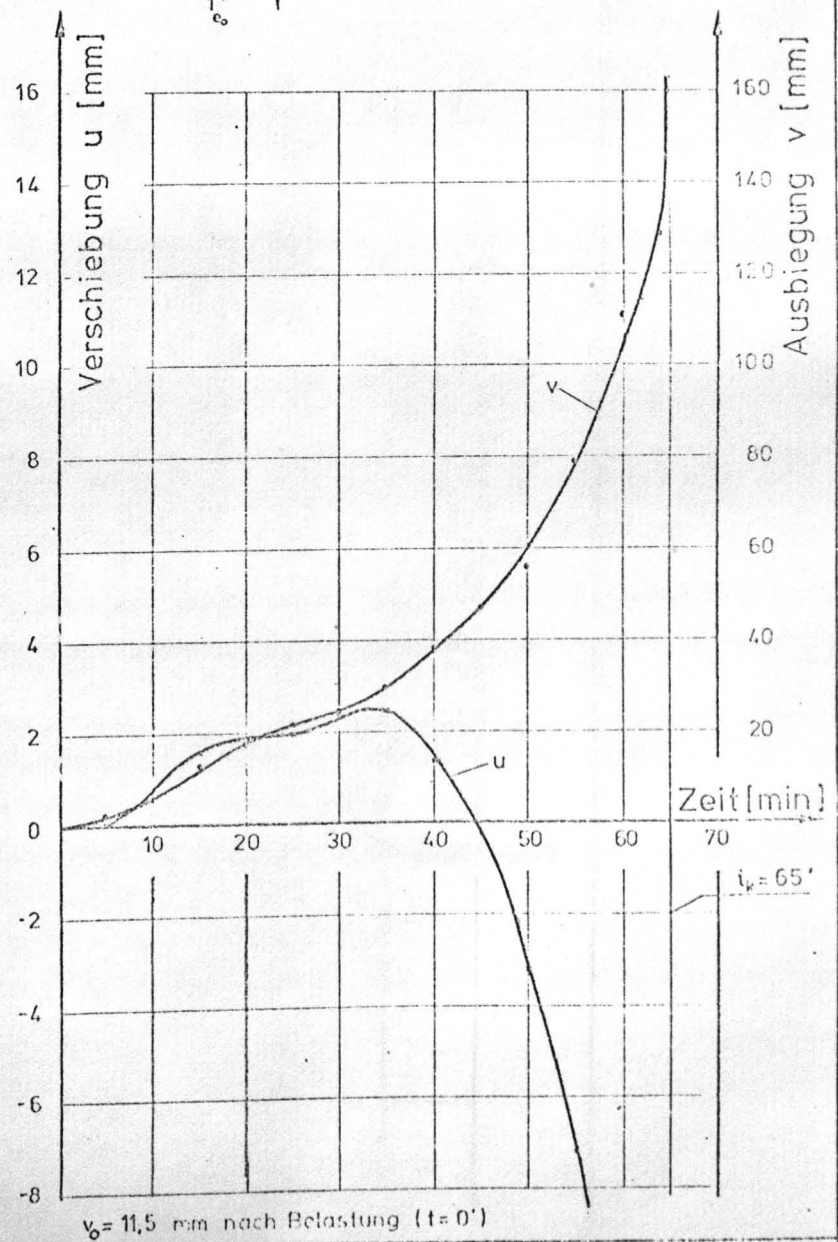
$P = 360 \text{ kN}$  (zul P nach DIN 1045)

$e_0 = 15 \text{ cm}$  (planmäßige Ausmitte)

$t_k$ : Feuerwiderstandsdauer

$u$ : Stützenfußverschiebung

$v$ : Stützens Ausbiegung



Sonderforschungsbereich 148  
Brandverhalten von Bauteilen

Bild 15



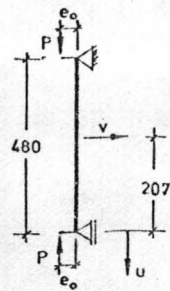
Stahlbetonstütze S76-4/1 Querschnitt 20×20 cm

Stützenlänge: 480 cm

lichte Brandraumhöhe: 460 cm

Beflammung: allseitig nach E.T.K. (DIN 4102)

### Verformungsmessung



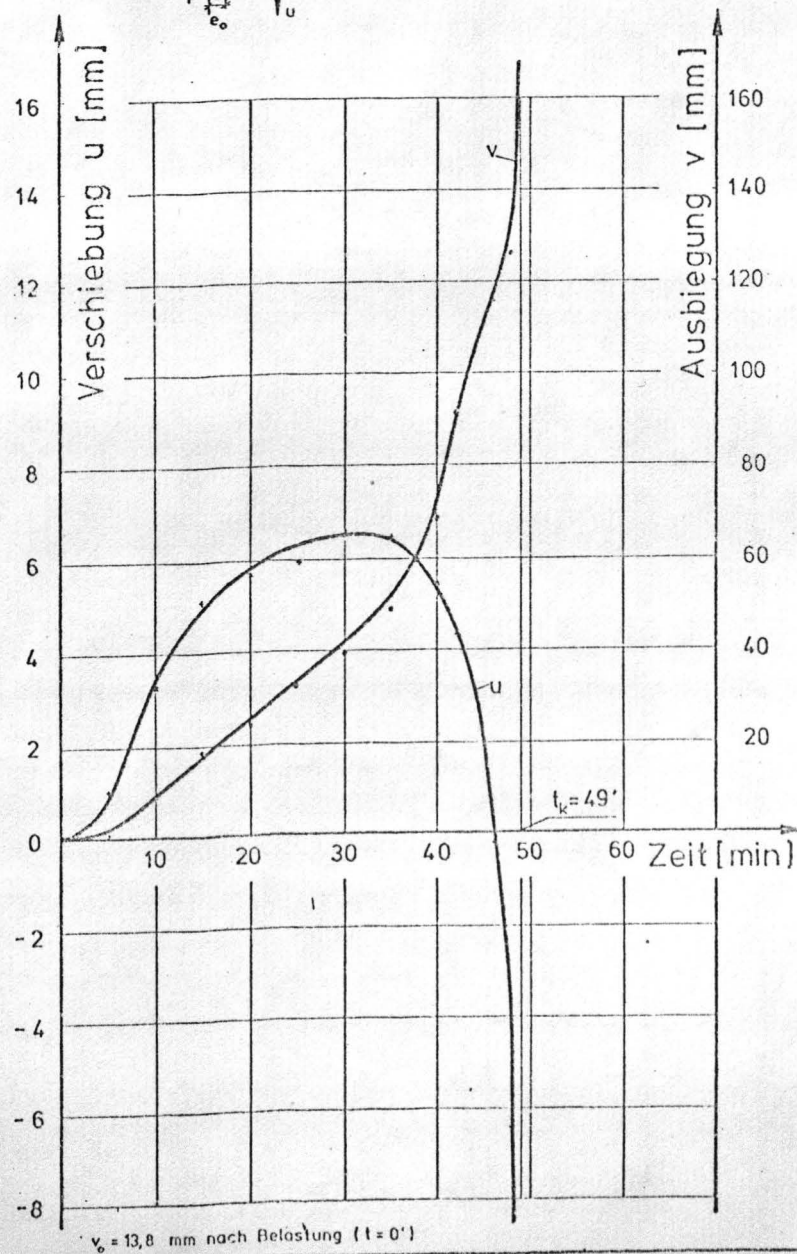
$P = 170 \text{ kN}$  (zul  $P$  nach DIN 1045)

$e_o = 6 \text{ cm}$  (planmäßige Ausmitte)

$t_k$ : Feuerwiderstandsdauer

$u$ : Stützenfußverschiebung

$v$ : Stützensausbiegung



Sonderforschungsbereich 148  
Brandverhalten von Bauteilen

Bild 16

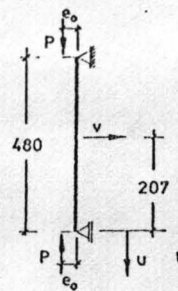
Stahlbetonstütze S76 - 4/2 Querschnitt 20x20 cm

Stützenlänge: 480 cm

lichte Brandraumhöhe: 460 cm

Beflammung: allseitige nach E.T.K. (DIN 4102)

### Verformungsmessung



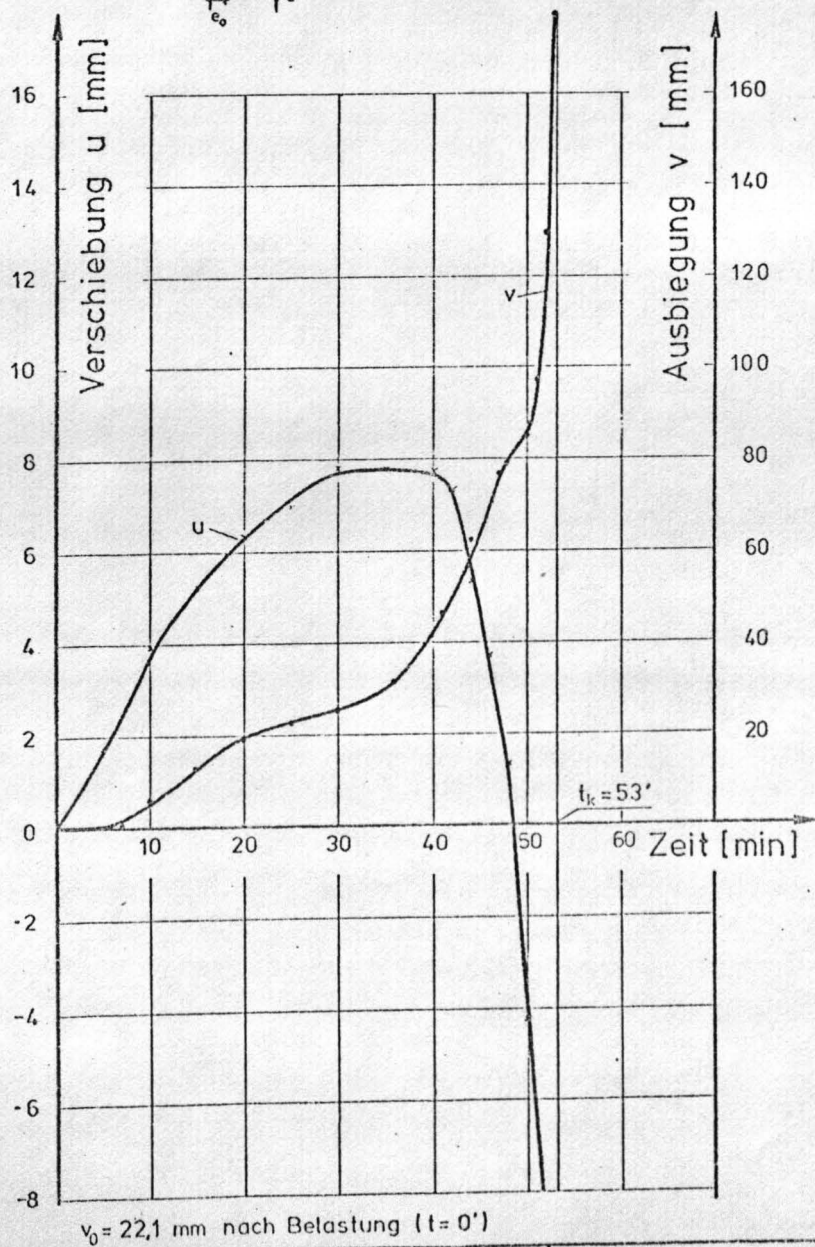
$P = 130 \text{ kN}$  (zul P nach DIN 1045)

$e_0 = 10 \text{ cm}$  (planmäßige Ausmitte)

$t_k$ : Feuerwiderstandsdauer

$u$ : Stützenfußverschiebung

$v$ : Stützenschiebung



Sonderforschungsbereich 148  
Brandverhalten von Bauteilen

Bild 17



3.01  
5.06

13. Feb. 2006

30-0504/2004  
5